

# 複数搬送手段を含む災害時の 傷病者搬送システム評価に関する研究

平成 19 年度科学研究費補助金(若手研究(B))

研究成果報告書

課題番号 19790379

平成 21 年 3 月

研究代表者 小池 則満

(愛知工業大学都市環境学科)

## まえがき

本報告書は、平成 19 年より交付された文部科学省科学研究費若手研究(B)「複数搬送手段を含む災害時の傷病者搬送システム評価に関する研究」の研究成果をとりまとめたものである。

ヘリコプター搬送の必要性や重要性は、医学的見地からすでに多くの指摘がなされている。一方で、システム論的アプローチによる定量的評価は、社会へ向けての説明や政策指標、システム改善のための指標として必要不可欠であると考えられる。

そこで本研究では、集団災害発生時において、ドクターヘリコプターをはじめとするヘリコプターが傷病者搬送活動に加わり、地上の救急隊や関係機関と連携することによってどのような改善効果が期待できるのか、いくつかの定量的な指標で表現することを目指した。また、災害用臨時ヘリポート等の評価やドクターヘリコプターの全国展開に向けた課題整理を行った。

本研究の成果が、我が国におけるヘリコプター救急の発展のための一助となれば幸いである。

本研究を遂行するにあたり多くの方からご教示いただいた。とりわけ、愛知医科大学野口宏先生、愛知医科大学井上保介先生、川崎重工業株式会社栗田敬司氏、航空宇宙研究開発機構小林啓二氏には、多くのご助言を賜った。また、分析や結果のとりまとめについては、乗京和生君、齋藤成彦君、二村禎晃君、前田大輔君をはじめとする、愛知工業大学都市環境学科土木工学専攻計画研究室の学生諸君の活躍によるところが大きい。ここに記して御礼申し上げます。

平成 21 年 3 月

研究代表者 小池 則満

## 論文リスト（審査付き論文のみ掲載）

小池則満，小林啓二，栗田敬司：災害時臨時ヘリポートの特性評価に関する研究，日本航空医療学会雑誌，第8巻，第1号，PP. 27-34，2007.

小池則満，乗京和生：震災時における負傷者広域搬送システムを支える道路網整備に関する研究，都市計画論文集，Vol. 42-3，pp. 619-624，2007.

小池則満：震災時における来院傷病者数予測モデルの構築，日本集団災害医学会誌，第13巻，第1号，PP. 1～7，2008.

二村禎晃，小池則満，栗田敬司：社会的指標によるドクターヘリコプターシステム普及のための要因分析，安全問題研究論文集，Vol. 3，PP. 113-118，2008.

前田大輔，小池則満，井上保介，野口宏：航空機事故発生時におけるドクターヘリの有効性評価，安全問題研究論文集，Vol. 3，PP. 119-124，2008.

齋藤成彦，小池則満，井上保介，野口宏：高速道路事故におけるドクターヘリコプターを活用した救急活動に関する研究，安全問題研究論文集，Vol. 3，PP. 125-130，2008.

# 目次

航空機事故発生時におけるドクターヘリの有効性評価

震災時における来院傷病者数予測モデルの構築

震災時における負傷者広域搬送システムを支える道路網整備に関する研究

高速道路事故におけるドクターヘリコプターを活用した救急活動に関する研究

災害時臨時ヘリポートの特性評価に関する研究

社会的指標によるドクターヘリコプターシステム普及のための要因分析

英文アブストラクト集

# 航空機事故発生時におけるドクターヘリの有効性評価

## 1. はじめに

近年、大規模な航空機事故の発生数は国際的には年々低下していると言われている<sup>1)</sup>。その一方で、空港の規模や利用客数は増加傾向にあり<sup>2)</sup>、潜在的な航空機事故発生の可能性も増加傾向にあると言える。航空機事故は、いったん発生すると大惨事に発展する可能性があり、初期救援活動はきわめて困難である。また、航空機事故のほぼ4割は離着陸時に発生しており、空港及びその周辺における消火、救援体制の確立がきわめて重要である<sup>3)</sup>。

航空機事故のように同時に多数の傷病者が発生する災害を、医学分野では特に「集団災害」と呼んでいる。集団災害発生時において最も留意すべき点は、集中治療により救命可能な最重症例に対していかにして平時と同等の医療活動を行うかである。多数傷病者には、個々の病院ではなく、多数の医療機関が組織的に対応すべきであり、被災地とこれを救援する後方地域を対比した全体構図を認識し、各施設がその役割を自覚することが重要とされている<sup>4)</sup>。これを実現するためには、広域的に、かつ迅速に傷病者を搬送するシステムが必要である。

しかし、救急車のみでの搬送では、台数が限られることによる輸送力の問題や、近隣の医療機関への搬送が集中することによって医療機関に混乱が生じ、初期治療を受ける時間が遅れるなどの問題が発生することが考えられる。そこで、期待されるのが救急医療専用ヘリコプター、いわゆるドクターヘリである。ドクターヘリは、道路渋滞の影響がない、遠方の医療機関に迅速に搬送できる、搬送中に適切な治療が受けられる、などの特徴があり、近隣の医療機関の負担を軽減すると共に、傷病者への高い救命効果が期待できると考えられる。

国内の空港での航空機事故を想定したドクターヘリ運用訓練などはほとんど行われておらず、実際の運用事例もない。航空機事故におけるドクターヘリの運用促進のためには、航空機事故に対するドクターヘリ運用の有効性を知ることが重要であると考えられる。

こうした集団災害について論じた既往研究としては、小池ら<sup>6)</sup>によるものがある。ここでは、集団災害時に傷病者らが負うリスクについて論じられている。しかし、ヘリコプターによる広域搬送活動が、傷病者のリスク低減についてどの程度貢献するかを詳細に論じたものではない。また、そこで提案されている指標は、搬送および治療開始までの時間がかかるほど相対的にリスクが増す設定となっているが、実際には、重傷の傷病者の場合はある一定の時間が経過した後には、救命機会が失われてしまう可能性が高いことから、救命のためのタイムリミットを考慮に入れた指標を用いることが必要と考えられる。

本研究の流れを図-1に示す。まず、ドクターヘリの拠点となる医療機関から、ドクターヘリの一般的な運用範囲とされる半径約50kmの範囲にある空港を調査対象としてピックアップする。次に、災害シナリオ・搬送条件を設定し、救命率の時

間との関連性を示すカーラー救命曲線を参考にしたリスク指標を提示し、各搬送条件における傷病者の搬送時の死亡に対するリスクを算出する。また、全傷病者の死亡率から、事故1件に対するリスク及び空港に対するリスクを算出し、搬送条件ごとに比較することにより、ドクターヘリによるリスク低減効果を検証・考察する。その結果より、ドクターヘリの有効性を示すとともに、今後の航空機事故に対する提案を行うこととする。

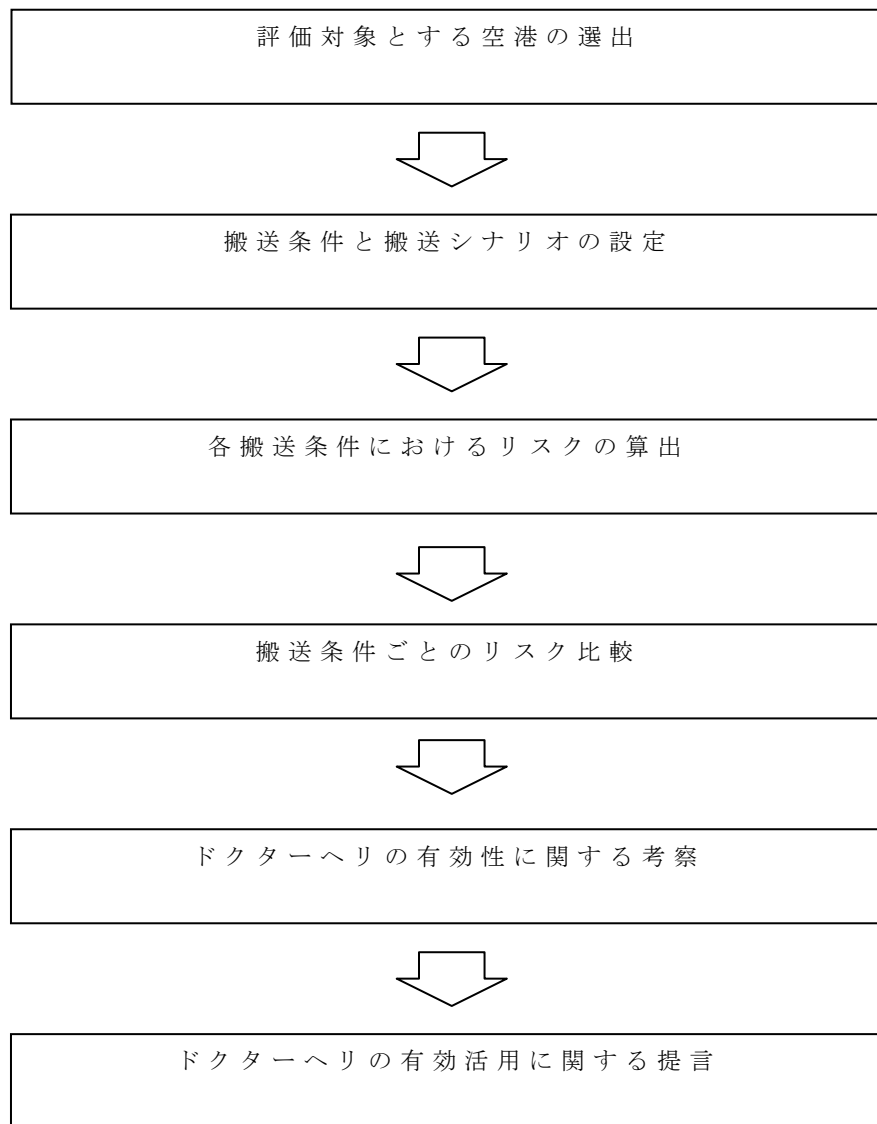


図-1 研究の流れ

## 2. 搬送条件とシナリオの設定

### 2.1 対象とする空港について

本研究では、ドクターヘリの拠点となる医療機関から、ドクターヘリの一般的な運用範囲とされる半径約 50km までに存在する空港を評価対象とし、以下に挙げる 16 空港について、リスク評価を行う。なお、第一種～第三種とは旧空港整備法における空港分類である。

[第一種空港]

成田国際空港・東京国際空港・中部国際空港・大阪国際空港・関西国際空港

[第二種空港]

新千歳空港・仙台空港・広島空港・高松空港・福岡空港・長崎空港

[第三種空港]

福島空港・松本空港・神戸空港・岡山空港・佐賀空港

## 2.2 搬送条件

各空港の航空機事故発生時の傷病者搬送に関するリスクを計算するにあたり、以下に示す搬送条件を設定する。想定する搬送条件は、現行の救急車のみによる搬送 [搬送条件Ⅰ] に加え、ドクターヘリが参加した場合 [搬送条件Ⅱ]、さらに消防防災ヘリも加わった場合 [搬送条件Ⅲ]、ヘリは参加せず救急車台数を増やした場合 [搬送条件Ⅳ] を想定する。これにより、ドクターヘリによるリスク低減効果が、各空港の立地条件や利用状況にどのように影響されるのかを検証し、特にドクターヘリが有効と考えられる条件について考察する。

[搬送条件Ⅰ] 救急車のみによる搬送

[搬送条件Ⅱ] 救急車+ドクターヘリによる搬送

[搬送条件Ⅲ] 救急車+ドクターヘリ+消防防災ヘリによる搬送

[搬送条件Ⅳ] 空港直近の消防署の救急車を1台増やした場合の救急車のみによる搬送

## 2.3 シナリオ設定

想定する傷病者の人数をICAO空港業務マニュアル<sup>5)</sup>に基づき、以下の式(1)によって算出し、傷病者全員の搬送に必要なだけの消防・医療機関の選出と、各機関から空港までの距離を導き出す。これにより、傷病者ごとに事故発生から搬送開始までにかかる時間及び搬送開始から医療機関到着までにかかる時間を算出する。

$$n = P \times I_a \times I_b \quad \dots (1)$$

ここで、

$n$ : 事故1件の想定傷病者数 [人/件]

$P$ : フライト1件の平均乗客数 [人/件]<sup>2)</sup>

$I_a$ : 負傷率 (= 25%)<sup>5)</sup>

$I_b$ : 重・中等傷者率 (= 50%)<sup>5)</sup>

## 3. リスク算出方法

### 3.1 リスク計算手順

各空港に対するリスクは、図-2に示すような手順で計算する。

まず、事故発生と同時に空港周辺の救急隊が空港に駆けつけ、救出された重傷の傷病者を次々と周辺の医療機関へ搬送するものとする。傷病者ひとりひとりの搬送終了時点で救命を果たせない確率、すなわち死亡率を搬送に要する時間から計算し、これを傷病者 1 人に対するリスクとする。

次に、事故 1 件で発生する全傷病者の死亡率を平均して、事故 1 件での死者発生率とし、これを事故 1 件に対するリスクとする。

最後に、事故 1 件に対するリスクと各空港の年間事故発生確率から、各空港の着陸時の事故による年間死者発生数を計算し、これを各空港に対するリスクとする。

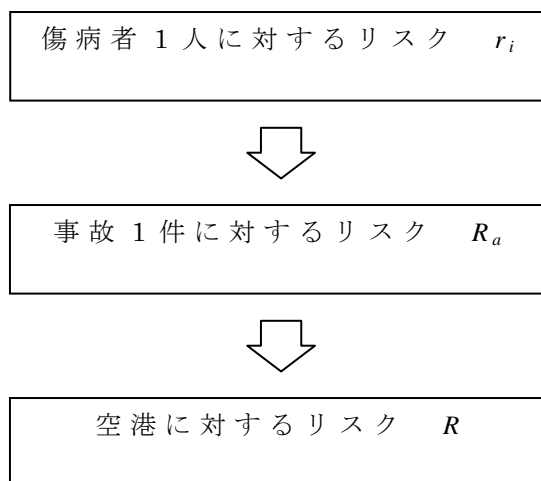


図-2 リスク算出手順

### 3.2 傷病者 1 人に対するリスク

各搬送シナリオに基づき、搬送手段及び搬送所要時間を算出する。次に、傷病者ごとに医療機関到着時点での死亡率を算出し、これを傷病者 1 人に対するリスクとする。重傷者の救命には迅速な治療が行われなくてはならないのは論を待たないが、その結果には、受傷の状況や傷病者それぞれの既往歴等の要因が複雑に絡むため、疫学的根拠による評価式の設定は難しいのが現状である。

そこで本研究では、重傷者の時間経過と死亡率の関連性を示した目安のひとつであるカーラー救命曲線<sup>7)</sup>を参考に、以下の式 (2) を提案する。

$$r_i = d_{t_1} + (1 - \alpha) \times (d_{t_2} - d_{t_1}) \quad \dots (2)$$

ここで、

$r_i$  : 傷病者 1 人に対するリスク [%]

$d_{t_1}$  : カーラー救命曲線による搬送開始時点の死亡率 [%]

$d_{t_2}$  : カーラー救命曲線による搬送終了時点の死亡率 [%]

$\alpha$  : 搬送手段による死亡率低減係数

(救急車・防災ヘリ : 0.5 ドクターヘリ : 0.9)

式中の  $d_{t_1}$  及び  $d_{t_2}$  は、カーラー救命曲線の多量出血時の死亡率曲線における、当

該時点での死亡率である。このとき、搬送開始時刻及び搬送終了時刻は、事故発生時を0分とし、そこからの経過時間によって計算する。

救急隊については、初動として空港近隣の3隊が出動し、その初動隊が現着し応援要請をだして傷病者全員を搬送するための必要な数が周辺地域より出動することとした。救急隊の走行速度は30km/h、ヘリコプターについては200km/hで飛行すると設定して到着時間、搬送時間を算出した。また、収容する医療機関については、救急隊は近隣の医療機関から順に、ドクターヘリは、運航拠点となっている医療機関へ搬送することとした。医療機関の収容可能人数は最大6名とした。ほかの医療機関への転院搬送については、ないものと仮定した。

式中の  $\alpha$  は、各搬送機関での搬送中に受けられる初期治療及び応急処置の処置レベルによって、搬送中の傷病者の死亡率低減効果が異なることを表す。本研究では、救急車及び消防防災ヘリでは死亡率が無処置の場合の50%、ドクターヘリでは90%低減されるものとする。これは、救急車及び消防防災ヘリでは救急救命士等による処置程度しか受けられないのに対し、ドクターヘリでは医師による高度な治療が受けられることを表すためである。また、医療機関に到着した時点で死亡率の上昇が食い止められるものとし、本研究における傷病者1人に対するリスクは、医療機関到着時点の死亡率とする。

この評価式の特徴は、カーラー救命曲線という救急医学分野で一般的に紹介されている概念を基本としつつ、搬送中に施される治療レベルを係数化することとで、複数の搬送活動の代替案を相対的に評価する点である。一方で、傷病種別や災害の状況を十分に絞り込み、疫学的に死亡率を検証した式ではないので、個々の傷病者の死亡率予測を可能とするものではないことに注意する必要がある。

### 3.3 事故1件に対するリスク

全傷病者の医療機関到着時点での死亡率を平均することによって、航空機事故1件当たりで発生する傷病者のうち、最終的に死亡する傷病者の割合とし、これを事故1件に対するリスクとする。

事故1件に対するリスク  $R_a$  は、以下の式(3)によって算出する。

$$R_a = \sum_{i=1}^n r_i / n \quad \dots (3)$$

ここで、

$R_a$  : 事故1件に対するリスク [%]

$r_i$  : 傷病者1人に対するリスク [%]

$n$  : 事故1件の想定傷病者数 [人/件]

### 3.4 空港に対するリスク

事故1件あたりの想定傷病者数  $n$  と事故1件あたりの死者の発生割合である  $R_a$  をかけ、事故1件あたりの死者発生数とする。これに、各空港の年間航空機事故発生確率  $\beta$  をかけることで、各空港の航空機事故による年間死者発生数を算出し、空港

に対するリスクとする。

各空港の年間事故発生確率  $\beta$  は、IATA<sup>1)</sup> の調査結果に基づき、フライト 1,000,000 回につき 0.65 回の確率で重大な事故が発生するものとし、以下の式 (4) によって計算する。

$$\beta = L \times A_p \quad \dots \quad (4)$$

ここで、

$\beta$  : 年間航空機事故発生確率 [件/年]

$L$  : 年間着陸回数 [回/年]<sup>2)</sup>

$A_p$  : 事故発生確率 [件/回] (= 0.65 / 1,000,000)<sup>1)</sup>

各空港に対するリスク  $R$  は、以下の式 (5) によって算出する。

$$R = n \times R_a \times \beta \quad \dots \quad (5)$$

ここで、

$R$  : 空港に対するリスク [人/年]

$n$  : 事故 1 件の想定傷病者数 [人/件]

$R_a$  : 事故 1 件に対するリスク [%]

$\beta$  : 年間航空機事故発生確率 [件/年]

## 4. リスク計算結果と比較

### 4.1 リスク計算結果

搬送条件 I (救急車のみによる搬送) における、各空港に対するリスク  $R$  と、その計算過程に用いた数値  $n$ 、 $R_a$ 、 $\beta$  を表-1 に示す。また、表-1 に示す各値の平均値を表-2 に示す。但し、表-2 の  $R$  の値は、 $n$ 、 $R_a$ 、 $\beta$  の平均値による計算結果ではなく、全空港の  $R$  の平均を示す。一般的には、傷病者数が多いほど全傷病者の搬送完了までに時間がかかり、全体の死亡率は上がると考えられる。しかし表-1 を見ると、事故 1 件の想定傷病者数  $n$  に対して事故 1 件に対するリスク  $R_a$  は比例関係にないことが分かる。ここで、各搬送条件における各空港の事故 1 件に対するリスク  $R_a$  を表-3 に、各空港に対するリスク  $R$  を表-4 に示す。

表 - 1 リスク計算結果（搬送条件 I）

空港	$n$ (人/件)	$R_a$ (%)	$\beta$ (件/年)	$R$ (人/年)
第一種				
成田国際空港	19	64%	0.062	0.75
東京国際空港	25	51%	0.105	1.34
中部国際空港	13	61%	0.035	0.28
大阪国際空港	16	20%	0.043	0.14
関西国際空港	18	74%	0.038	0.51
第二種				
新千歳空港	22	69%	0.034	0.52
仙台空港	9	46%	0.016	0.07
広島空港	19	81%	0.007	0.11
高松空港	13	45%	0.005	0.03
福岡空港	17	23%	0.045	0.18
長崎空港	7	26%	0.015	0.03
第三種				
福島空港	7	47%	0.003	0.01
松本空港	2	8%	0.003	0.00
神戸空港	16	53%	0.006	0.05
岡山空港	17	78%	0.004	0.05
佐賀空港	4	42%	0.003	0.01

表 - 2 対象とする全空港における各値の平均

	$n$ (人/件)	$R_a$ (%)	$\beta$ (件/年)	$R$ (人/年)
平均	14	49%	0.027	0.26

表－3 各空港の事故1件に対するリスク  $R_a$

空港	事故1件に対するリスク $R_a$			
	条件Ⅰ	条件Ⅱ	条件Ⅲ	条件Ⅳ
第一種				
成田国際空港	64%	55%	48%	58%
東京国際空港	51%	44%	42%	47%
中部国際空港	61%	43%	38%	49%
大阪国際空港	20%	20%	20%	17%
関西国際空港	74%	64%	58%	67%
第二種				
新千歳空港	69%	62%	60%	62%
仙台空港	46%	46%	44%	39%
広島空港	81%	78%	73%	75%
高松空港	45%	37%	34%	39%
福岡空港	23%	20%	19%	20%
長崎空港	26%	22%	5%	11%
第三種				
福島空港	47%	35%	32%	38%
松本空港	8%	8%	8%	8%
神戸空港	53%	46%	43%	46%
岡山空港	78%	67%	60%	71%
佐賀空港	42%	22%	22%	38%

表－4 各空港に対するリスク  $R$

空港	空港に対するリスク $R$			
	条件Ⅰ	条件Ⅱ	条件Ⅲ	条件Ⅳ
第一種				
成田国際空港	0.75	0.65	0.57	0.68
東京国際空港	1.34	1.16	1.10	1.23
中部国際空港	0.28	0.20	0.17	0.22
大阪国際空港	0.14	0.14	0.14	0.12
関西国際空港	0.51	0.44	0.40	0.46
第二種				
新千歳空港	0.52	0.46	0.45	0.46
仙台空港	0.07	0.07	0.06	0.06
広島空港	0.11	0.10	0.10	0.10
高松空港	0.03	0.02	0.02	0.03
福岡空港	0.18	0.15	0.15	0.15
長崎空港	0.03	0.02	0.01	0.01
第三種				
福島空港	0.01	0.01	0.01	0.01
松本空港	0.00	0.00	0.00	0.00
神戸空港	0.05	0.04	0.04	0.04
岡山空港	0.05	0.05	0.04	0.05
佐賀空港	0.01	0.00	0.00	0.00

## 4.2 リスク比較

まず、各搬送条件におけるリスク  $R_a$  と  $R$  を比較すると、どちらも搬送条件 I に比べて搬送条件 II～IV ではリスクが低減されていることが分かる。しかし、各空港における搬送条件ごとのリスク低減度は一様ではなく、空港ごとの立地条件や利用状況によって、リスク低減効果に差異が生じるものと考えられる。

各搬送条件における各空港の事故 1 件に対するリスク  $R_a$  を比較すると、図-3 のようになる。図-3 のグラフ内の各線は、各搬送条件におけるリスクの平均値である。

グラフを見ると、搬送条件 II～IV はそれぞれ搬送条件 I に比べてリスクを大きく低減できることが分かる。平均で見ると、搬送条件 II と搬送条件 IV はほぼ同等の低減度を示し、搬送条件 III は各搬送条件の中で最も高いリスク低減度を示している。各搬送条件によるリスク低減度を、表-5 に示す。

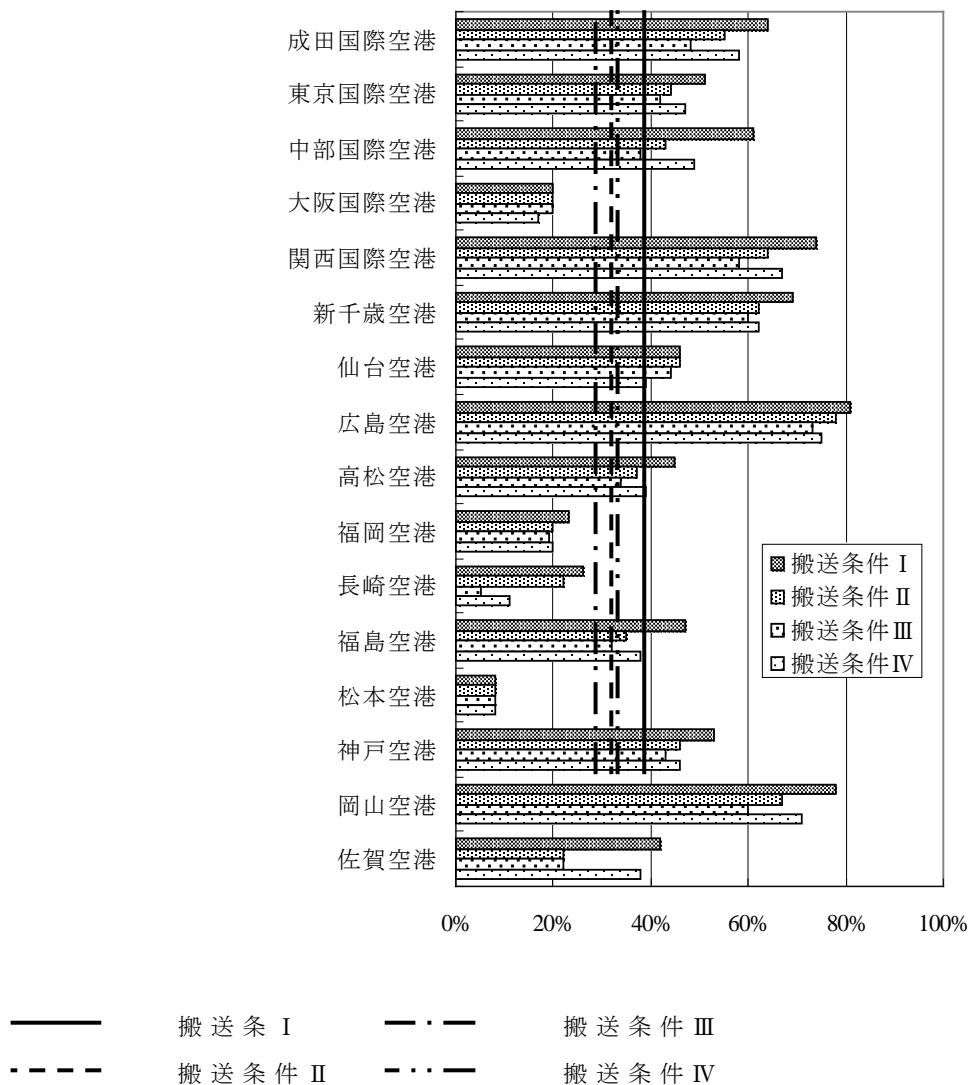


図-3 各空港の事故 1 件に対するリスク  $R_a$  の比較

表－5  $R_a$  における各搬送条件によるリスク低減度

	平均リスク ( $R_a$ )	平均リスク 低減度
搬送条件Ⅰ	49%	—
搬送条件Ⅱ	42%	7%
搬送条件Ⅲ	38%	11%
搬送条件Ⅳ	43%	6%

平均的に見れば搬送条件Ⅲによるリスク低減度が最も高いことが分かる。

次に、空港ごとの各搬送条件によるリスク低減効果を比較すると、表－6 のようになる。表－6 では、ドクターヘリ及び消防防災ヘリによる空路搬送と、救急車による陸路搬送を強化した場合とを比較し、どのような立地条件では現行の陸路搬送を強化するよりも、空路搬送の方が有効となるかを検証する。そこで、搬送条件Ⅱ及びⅢと搬送条件Ⅳを比較して、搬送条件Ⅱ及びⅢのリスク低減効果が高い場合に、該当枠にマーキングを施した。また、搬送条件Ⅱ及びⅢよりも搬送条件Ⅳのリスク低減効果が高い場合にも、該当枠にマーキングを施した。

これによると、搬送条件Ⅱは 16 空港中 8 空港で搬送条件Ⅳよりもリスク低減度が高く、最大では佐賀空港で 20%のリスク低減度が得られた。条件Ⅲは 16 空港中 13 空港で搬送条件Ⅳよりもリスク低減度が高く、最大では中部国際空港で 23%のリスク低減度が得られた。

表－6  $R_a$  におけるリスク低減度の比較

空港	リスク低限度 ( $R_a$ )		
	条件Ⅱ	条件Ⅲ	条件Ⅳ
第一種			
成田国際空港	-9%	-16%	-6%
東京国際空港	-7%	-9%	-4%
中部国際空港	-18%	-23%	-12%
大阪国際空港	0%	0%	-3%
関西国際空港	-10%	-16%	-7%
第二種			
新千歳空港	-7%	-9%	-7%
仙台空港	0%	-2%	-7%
広島空港	-3%	-8%	-6%
高松空港	-8%	-11%	-6%
福岡空港	-3%	-4%	-3%
長崎空港	-4%	-21%	-15%
第三種			
福島空港	-12%	-15%	-9%
松本空港	0%	0%	0%
神戸空港	-7%	-10%	-7%
岡山空港	-11%	-18%	-7%
佐賀空港	-20%	-20%	-4%

この結果から、ほとんどの空港ではドクターヘリと消防防災ヘリが連携することにより、高いリスク低減効果が得られることが分かる。また、表－５では平均的に同等のリスク効果が得られると示された搬送条件Ⅱと搬送条件Ⅳでも、空港ごとに比較すると、搬送条件Ⅱの方が高いリスク低減効果が得られるケースが多いことがわかる。

この結果は、搬送条件Ⅳ（空港直近の消防署の救急車を１台増やした場合の救急車のみによる搬送）は、各空港において安定してリスク低減効果が得られるが、搬送条件Ⅱ（救急車＋ドクターヘリによる搬送）は、空港の立地条件等によっては、あまりリスク低減効果が得られない場合と、特に高いリスク低減効果が得られる場合があることを示している。

以上のことから、空港での航空機事故における傷病者搬送計画には、ドクターヘリや消防防災ヘリといった空路搬送手段が有効であると言える。また、これらの搬送手段を整備するにあたり、どのような空港から優先的に整備すべきかを考察するために、各空港のリスク  $R$  におけるリスク低減度の比較結果を、表－７に示す。これを見ると、第二種及び第三種空港では、各搬送条件によるリスク低減度は低く、ほとんどの空港で 0.05 ポイント以下となっている。これは、着陸回数が少ないために航空機事故そのものへのリスクが小さくなっているためである。それに対して、第一種空港におけるリスク低減度は高く、最大で 0.24 ポイントを示している。

このことから、第一種空港や特に大規模な空港に対する対策が優先的に行われるべきであると言える。

表－７  $R$  におけるリスク低減度の比較

空港	リスク低限度 ( $R$ )		
	条件Ⅱ	条件Ⅲ	条件Ⅳ
第一種			
成田国際空港	-0.10	-0.18	-0.07
東京国際空港	-0.18	-0.24	-0.11
中部国際空港	-0.08	-0.11	-0.06
大阪国際空港	0.00	0.00	-0.02
関西国際空港	-0.07	-0.11	-0.05
第二種			
新千歳空港	-0.06	-0.07	-0.06
仙台空港	0.00	-0.01	-0.01
広島空港	-0.01	-0.01	-0.01
高松空港	-0.01	-0.01	0.00
福岡空港	-0.03	-0.03	-0.03
長崎空港	-0.01	-0.02	-0.02
第三種			
福島空港	0.00	0.00	0.00
松本空港	0.00	0.00	0.00
神戸空港	-0.01	-0.01	-0.01
岡山空港	0.00	-0.01	0.00
佐賀空港	-0.01	-0.01	-0.01

## 5. 考察

以上の結果より、半数近くの空港ではドクターヘリの活用によって、現行よりも航空機事故発生時における傷病者搬送にかかるリスクを低減できると考えられる。しかし、同じ搬送条件でも各空港におけるリスク低減度には差異があり、ドクターヘリ等をどのような場合で活用することが最も効果的かを知る必要がある。

ドクターヘリの参加する搬送条件Ⅱのほうが救急隊を増やす搬送条件Ⅳよりも有効である空港が多かった要因としては、①多くの空港が空港島や都市郊外にあり、近隣の消防及び医療機関が充実していないこと②近隣の消防機関の数が少ないために、遠方の消防機関に出動要請せざるを得ず、救急車の現場到着が遅くなること③医療機関が遠いために傷病者の分散搬送が困難であること、が挙げられる。具体的には、表-6の第一種空港において、大阪国際空港のみヘリコプター搬送の効果がみられない結果となっている。大阪国際空港では半径5km以内に10カ所の消防署・出張所があるが、郊外にある成田国際空港、沖合にある東京国際空港、海上空港である関西国際空港、中部国際空港では10km以上離れた場所からの救急隊の応援を要請しなくては、同程度の数を確保するのは困難であった。このような場合には、ドクターヘリの①現場到着までの時間が短く、初期治療開始時間が早くなる②搬送中に傷病者に対して治療を行うことができる③遠方の医療機関に搬送することにより、事故現場近隣の医療機関の負担を軽減する、という特性が活かされ、高いリスク低減効果が得られるものと考えられる。

また、消防防災ヘリの活動拠点としている空港も多く、このような場合には消防防災ヘリによる迅速な搬送の開始が可能である。空港での航空機事故発生に対して消防防災ヘリが情報収集のための飛行のみならず傷病者搬送に対しても素早く機能できるように備えることが必要と考えられる。

## 6. まとめと今後の課題

空港での航空機事故における傷病者搬送を評価する方法を提案するとともに、ヘリコプター搬送の有効性について論じることができた。今後は、近隣医療機関の混雑緩和効果も含めた医療活動全体の評価や、それに関連して空港周辺の道路計画へどのように反映させるのか、といったことが課題として考えられる。

### 参考文献

1) IATA 国際航空運送協会ホームページ

<http://www.iata.org/pressroom/pr/2007-04-16-01>

2) 国土交通省 航空局ホームページ, 平成18年空港管理状況調書

[http://www.mlit.go.jp/koku/04\\_outline/10\\_data/index.html](http://www.mlit.go.jp/koku/04_outline/10_data/index.html)

3) 鶴飼卓, 高橋有二, 青野充: 事例から学ぶ災害医療-「進化する災害」に対処するために, 南江堂, pp9-10, 1995

- 4) 吉岡敏治：集団災害医療マニュアル 阪神・淡路大震災に学ぶ新しい集団災害への対応，へるす出版，pp13，2000
- 5) ICAO：空港業務マニュアル 第7部－空港緊急事態計画作業，pp59-60，1980.
- 6) 小池則満，秀島栄三，山本幸司，深井俊英：災害時における負傷者搬送活動の評価指標に関する基礎的研究，土木学会論文集，No.709，4-56，PP.71-79，2002.
- 7) 東京消防庁ホームページ  
<http://www.tfd.metro.tokyo.jp/lfe/kyuu-adv/joukyu/oukyu-01.htm>

# 震災時における来院傷病者数予測モデルの構築

## 1 背景と目的

阪神・淡路大震災のような大規模な地震災害においては、その搬送システムは多段階におよび、現場から現地医療機関へ、さらに基幹的医療機関へ、特に重傷な傷病者等については最終的に被災地外の後方医療機関へと搬送される。厚生労働省による災害拠点病院の整備も、こうした後方医療機関への搬送の際に窓口となる医療機関の整備を考えたものである<sup>1)</sup>。しかし、吉岡らによれば、阪神・淡路大震災における初診医療機関への交通手段は、担架や自力歩行、自家用車を合わせた私的交通手段によるものが4割を超えていたとされる<sup>2)</sup>。したがって、震災を想定した災害医療計画策定においては、現地医療機関や現場救護所に集まる傷病者数は、外的な条件として与えられるべきものとなる。これは、被災範囲が限られ、私的交通手段の利用を制限することで搬送活動のある程度コントロールできる局地災害と大きく異なる点である。

震災時における搬送システム構築に重要な部分となる各医療機関に来院する傷病者数の予測方法としては、小池らによるモデルがある<sup>3)</sup>。これは、兵庫県西宮市における阪神・淡路大震災時の来院数等から、傷病者の移動を推定したものであり、医療機関の魅力度、距離、道路閉塞状況をパラメータとして設定し、実際値と比較することで、ある程度の精度で震災時における傷病者の医療機関の選択と行動を予測できるとしたものである。しかし、小池らが提案したモデルは、あくまで西宮市という場所の、阪神・淡路大震災におけるデータに基づいたものになっているため、必ずしも他都市の地勢や市民の意識等とは一致せず、そのまま適用しても現実的な結果は期待できない。少なくとも、医療機関への魅力度に関するパラメータについては、なんらかの形で補正しなくてはならないだろう。

そこで本研究では、震災時において主に私的交通手段を用いて医療機関へ向かう傷病者数の予測をアンケートおよび予測モデルによって行う方法を提案するとともに、その結果から災害医療計画策定にむけてのいくつかの考察を行うこととする。

## 2. 方法

### (1) 来院傷病者数予測モデルの構築

傷病者が医療機関を選択する際に影響を及ぼす要因としては、次のようなものが想定される。

#### ① 現在地から医療機関までの距離

杉本は過去の災害において傷病者は近隣の医療機関へ殺到し、やや離れた場所の医療機関へは向かわないという特徴を指摘している<sup>4)</sup>。鶴飼らは我が国における災害の事例を調査し、特に阪神・淡路大震災において激甚な被害地区内にある医療機関へは1000人以上の傷病者が殺到したのに対し、数km離れた医療機関には100名に満たない傷病者しか来院しなかったと報告している<sup>5)</sup>。

移動距離の短い方が傷病者にとって良いことはいうまでもないことから、被災者の所在地から医療機関までの距離は、傷病者の医療機関選択において最も影響の大きな要因であると考えられる。

## ②医療機関魅力度

医療機関の規模やその地域における知名度、かかりつけ医師の存在、地域の基幹病院としての機能を通常時より果たしているか、といった背景によって決定される魅力度が、医療機関選択に影響をおよぼす要因のひとつであると考えられる。

医療機関の選択は、以上のような因子が複合した形で決定されていると考えられる。この「距離」、「医療機関魅力度」という2つの因子によって決定される、医療機関の傷病者を集める力（商業施設の集客力に相当するもの）が概念的に存在するものと考え、本研究ではこれを医療機関ポテンシャルと呼ぶ。本研究では、式（1）のようなロジスティック曲線によって医療機関ポテンシャルを決定する。ここに、 $P_{ij}$ は地区*i*からみた医療機関*j*の医療機関ポテンシャル、 $D_{ij}$ は地区*i*から当該医療機関*j*までの距離、 $m_j$ は医療機関*j*の魅力度を示す。

$$P_{ij} = 1 - \frac{1}{1 + 10^{m_j} \cdot \exp(-D_{ij})} \quad (1)$$

式（1）のロジスティック曲線は、距離 $D_{ij}$ が短く、医療機関魅力度 $m_j$ が高いほど医療機関ポテンシャルが高くなる。概念図としてFig.1に医療機関魅力度 $m_j$ が高いケース（ $m_j=1.0$ ）と低いケース（ $m_j=0.3$ ）を示す。これをみると、魅力度の高い医療機関においては、同じ距離からでも多くの傷病者をひきつけることとなる。一方で、距離が遠くなるにつれて減衰をする。なお、小林は兵庫県南部地震における神戸市内の病院（病床数242床）の受療圏を調査した結果、震災当日においては90%の受療者が3.6km以内、2日目において6.6km以内であったと指摘している<sup>6)</sup>。また、小野寺は震災時を想定したアンケート調査を行い、病院の診療圏は平常時に比べて著しく狭くなることや家族が被災した場合は診療所ではなく病院を選択する可能性が高くなることを指摘している<sup>7)</sup>。本研究で定義する医療ポテンシャルは概ね5km以内からの来院者が多数を占める形であり、医療機関規模を魅力度に反映させることで、震災時の傷病者行動の特性を説明しようとするものである。

次に、地区*i*から医療機関*j*へ向かう傷病者数 $N_{ij}$ を式（2）で算出する。ここで、 $N_{ij}$ は地区*i*から医療機関*j*へ向かう傷病者数、 $N_i$ は地区*i*で発生する傷病者の総数、 $n$ は対象となる医療機関数を示す。

$$N_{ij} = \frac{P_{ij}}{\sum_{j=1}^n P_{ij}} \cdot N_i \quad (2)$$

この $N_{ij}$ 値を用いることによって、医療機関*j*が対応する傷病者数 $N_j$ は式（3）で表されることになる。ここで、 $N_j$ は医療機関*j*に搬入される傷病者の総数を、 $l$ は対象地域の地区数を示す。

$$N_j = \sum_{i=1}^l N_{ij} \quad (3)$$

本研究の計算フローを Fig. 2 に示す。

まず対象地域をいくつかの地域に分割（ゾーニング）し、発生する傷病者数を想定する。ゾーニングされた地区の大きさについては、防災計画等で一般的にひとつの地区単位として用いられている小学校区を考え、小学校を当該ゾーンにおける中心地と考える。

次に対象とする医療機関のリストアップを行い、ベッド数や救命指定の有無、アンケート調査の結果等に基づいて医療機関魅力度の設定を行う。

最後にそれぞれの小学校から医療機関までの距離を算出し、各小学校からみた各医療機関の医療ポテンシャル値を式（1）、（2）にしたがって求め、ポテンシャル・マトリクスを作成する。これを用いて式（3）によって、各医療機関への来院傷病者数を算出する。

## （2）対象都市への適用

本研究では、予測モデルを愛知県豊田市のうちの52小学校区に適用する。これは豊田市発行のハザードマップ等において、想定東海地震による被害が想定されている地域で、居住人口は約36万6千人である。医療機関は救急病院・救急診療所である15カ所とした。人的被害想定としては、以下の2パターンについて計算を行う。被災して病院へ向かう人数の設定については、阪神・淡路大震災において被害の大きかった神戸市中央区における人口に対する死傷者率が約3.6%、東灘区において約2.5%、西宮市全市では約1.8%であったことなどを考慮して設定した。

①市内全域において、一律に人口の1%が病院へ向かう場合

②想定東海地震の震源地に近い市南部（主に国道301号線よりも南部の地域）にて3%が、他地域では1%が病院へ向かう場合

次に医療機関魅力度の設定について考える。まず、中平ら<sup>8)</sup>、大森ら<sup>9)</sup>、大西<sup>10)</sup>は、阪神・淡路大震災におけるアンケート調査の結果から、震災当日、傷病者の約半数が認知度の高い大・中病院において受診しており、依存度が高かったことを指摘している。また、小病院や診療所で受診した傷病者は大・中病院の1/3程度であったとしている。そこで、西宮市をモデルとした際には、医療機関魅力度については、ベッド数が100床以上の医療機関を大・中病院として $m_j = 1.0$ 、100床以下を小病院等として $m_j = 0.5$ とし、さらに、地域における知名度を考慮して救急指定病院および公立病院は係数を1.0ずつ高く設定した。これは、小病院と比較して救急指定病院や公立の大・中病院が平均で約3倍程度のポテンシャルを持つ設定である。しかし、これはあくまで阪神淡路大震災時の西宮市における適用事例であり、そのまま豊田市に適用するのは問題があろう。

そこで本研究では、豊田市民に対する防災に関するアンケート調査<sup>11)</sup>において、「災害時に怪我をしてしまったらこの病院へ向かいますか」という問いを設定し、市民の災害時における医療機関選択の意識を調査した。この結果を医療機関魅力度に反映させて医療ポテンシャルを決定することとした。合わせて西宮市における設定の計算も行い両者を比較することとする。すなわち、

CASE1:西宮市の事例に基づいた医療機関魅力度による計算を行う。

CASE2:豊田市のアンケート結果に基づいて医療機関魅力度を補正した値を用いて計算を行う。

次に、傷病者の移動距離については、各小学校を各ゾーンの出発点とし、各医療機関との最短経路を移動距離として設定した。なお、既往研究<sup>3)</sup>では、高架橋の落橋による道路閉塞状況を加味した定式化や変数の設定を行っているが、近年、落橋対策も進んでいることから、考慮しないこととした。

### 3. 結果

#### (1) アンケート調査の結果

豊田市のK小学校区で行ったアンケート調査の結果について述べる。アンケートの配布・回収は平成16年10月～12月にかけて、自治会を通じて行った。配布数は3697世帯で、回答数は1860世帯、回収率は50.3%であった。記述は自由記述としたため複数の医療機関名が記述された回答も多かったが、計1272件となった。記述された医療機関名は23カ所であった。

Fig. 3に、災害時に向かうと回答のあった医療機関の比率を示す。これをみると、回答の9割がA病院、B病院、E病院となっている。A病院はベッド数488床を有する地域の基幹的医療機関で災害拠点病院でもある。B病院は公的な医療センターでベッド数は70床、E病院はベッド数50床の総合病院で、対象の小学校区内にある病院である。G病院は総合病院であるが、調査対象の小学校区から5km以上離れているために回答が少なかったものと考えられる。災害を想定した際の市民の医療機関選択は、極めて近距離の限られた範囲の、規模の比較的大きな医療機関へ集中すると予想される。

#### (2) 医療機関魅力度の算出

アンケート結果より、西宮市の事例よりもさらに規模の大きな医療機関への集中の度合いが大きいと考えられることから、医療機関魅力度については、ベッド数が100床以上の医療機関を大・中病院として $m_j = 1.0$ 、100床未満を小病院等として $m_j = 0.3$ とし、さらに、地域における知名度を考慮して公立病院等は係数を1.0ずつ高く設定し、医療機関ポテンシャルを算出することとした。Fig. 4に、K小学校区におけるアンケート調査における医療機関の回答数から求めた比率を横軸に、算出された医療機関ポテンシャルの値より予測した傷病者の比率を縦軸にとってプロットしたものを示す。対角線上に点が一致すれば、アンケート結果と医療機関ポテンシャルによる予測が一致することを示す。これをみると、A病院で、予測における比率が小さくなっているが、それ以外についてはほぼ対角線上にある。

#### (3) 豊田市全体の予測結果

豊田市全体の傷病者来院予測について、医療機関魅力度の設定を西宮市の事例に基づいて計算した結果をCASE1に、アンケート調査の結果に合わせて修正をしたものをCASE2として、Fig. 5に示す。なお、図中の病院名は(A, B, C・・・)はFig. 3、Fig. 4の病院名と対応している。これを見ると、特にA, G, J病院において、多くの傷病者が集中する様子がわかる。A病院は、前述の通り、地域の災害拠点病院であり、G病院はベッド数513の総合病院である。したがって全市より傷病者を集める可能性が高いと言える。一方で、J病院は、ベッド数は10床と少ないが多くの傷病者が集中すると予測された。

南部での被害を大きく想定した結果をFig. 6に示す。やはりA, G, J病院への集中がみられる。また、どちらのシナリオにおいてもA病院への来院数が非常に多いことがわかる。

西宮市の設定によるCASE1とアンケート調査により係数を修正したCASE2を比較すると、

Fig. 5、Fig. 6 とともに、CASE2 において、A 病院、B 病院への来院数が多くなっている。これはアンケートによる修正の結果と考えられるが、特に、A 病院においては 2 倍近くの違いがある。

#### 4. 考察

以上の通り、本研究で提案した方法によって、震災時に傷病者が集中する可能性のある医療機関を明確にすることができた。具体的には A, G, J 病院において多数の傷病者が集中する可能性を指摘した。

対策として、まず J 病院は医療機関の規模が小さく、対応能力を超えてしまうことが危惧される。J 病院の周辺に他の医療機関がなく、近辺の小中学校区から傷病者が集まるためと考えられることから、J 病院の周辺への応急救護所を早期に展開することが求められよう。次に、いずれのシナリオにおいても A 病院への集中が顕著である。A 病院は災害拠点病院であるが、過度の集中は医療機関の混乱ばかりでなく、周辺道路の混雑を招く恐れがある。すなわち、豊田市のような地方都市においては日常移動手段の中心はマイカーであり、震災時においてもマイカーによる私的搬送は止められないと考えられる。その結果、災害拠点病院である A 病院へ救急隊が近づけないような事態とならないようにしなくてはならない。対策としては、今回の試算で傷病者の来院が少ないと予測された A 病院周辺の医療機関への積極的な誘導を行い、出来る限りトリアージを経た傷病者が災害拠点病院である A 病院へ搬送されるよう、事前の防災計画に組み入れておく必要があるだろう。

以上の通り、事前に医療機関への傷病者数を予測することで、応急救護所展開の優先順位を示すことが可能となる。震災時には、応急救護所に派遣する医療スタッフの確保も困難が予想されることから、このような優先順位の付与は意義があるであろう。また、災害時には、現地医療機関から災害拠点病院へ、さらに航空機を用いて被災地外へ搬送する多段階の搬送システムが提案され、そのためのヘリポートの要件として「負傷者が多数搬入される病院やその近くに設置すること」と述べられている<sup>12)</sup>。本研究で提案した予測手法は、後方医療機関へ搬送するためのヘリポート計画、必要な航空機の機数や運用などを考える際のデータとしても、活用できる。

提案した手法は、特定の小学校区へのアンケート調査によって災害時にむかう医療機関をたずね、その比率から医療機関ポテンシャルの係数を調整し、得られた式を全市に適用して全体の傷病者の集中を予測する手順をとっている。しかし、たとえば震災時における傷病者の医療機関選択行動が、平常時の外来者数等々のデータとある一定の相関が見られるのであれば、アンケート調査に依らなくても実用的なデータが得られる可能性がある。あるいは、アンケートをとるのであれば、被害想定への提示、傷病の種類や程度の想定、回答者の属性、希望する搬送手段（救急車、マイカー、徒歩ほか）といった内容にまで踏み込んで調査すれば新たな視点をモデルに組み込むことが可能かもしれない。さらに、市民に対して、災害時の医療機関においてどのような事態が想定されているのか、それに対して地域の各々の医療機関がどのような役割を果たそうと考えているのか、トリアージとは何なのか、といった災害医療活動そのものについての啓蒙に努めることで、医療機関への多数傷病者集中と混乱を緩和させる可能性について探ることもできよう。それについてはまた別の機会に論じたい。

## 5. まとめ

震災時における傷病者の搬送システムの概要と問題点を指摘するとともに、医療機関ポテンシャルを定義し、来院傷病者数の予測手法を豊田市に適用した。その結果、震災時においては一部の医療機関への多数傷病者集中が予測されることや、対策として応急救護所やヘリポートの展開を、事前によく検討しておく必要性を述べた。

今後、事例を積み重ねて他地域への適用可能性や応用の可能性と限界などについて検証し、実際の計画策定において有用になるような簡便なモデルへと発展させたいと考える。

### 【参考文献】

- 1) 山本保博：災害医学と災害医療 21世紀の災害医療体制. へるす出版, 東京, 1996, pp2-8.
- 2) 吉岡敏治, 田中裕, 松岡哲也, 他：集団災害医療マニュアル. へるす出版, 東京, 2000, pp43-50.
- 3) 小池則満, 宇治和幸, 秀島栄三, 他：震災時における傷病者行動特性と搬送計画に関する一考察, 土木計画学研究・論文集 2001;Vol. 18 NO. 2:325-330.
- 4) 杉本侃：救急医療と市民生活. へるす出版, 東京, 1996, pp16-21.
- 5) 鶴飼卓, 高橋有三, 青野允：事例から学ぶ災害医療. 南光堂, 東京, 1995, p43.
- 6) 小林健一：震災時における病院の受療圏域—兵庫県南部地震におけるケーススタディー. 日本建築学会大会学術梗概集 1999:7-8.
- 7) 小野寺一成, 山下哲郎：震災時を想定した居住者アンケートによる受療行動の考察, 日本建築学会大会学術梗概集 1998:49-50.
- 8) 中平最映子, 室崎益輝, 大森寿雄：阪神・淡路大震災における負傷と医療に関する調査研究. 日本建築学会大会学術梗概集 1996:59-60.
- 9) 大森寿雄, 室崎益輝：震災時における地域災害医療に関する研究. 平成9年度日本建築学会近畿支部研究報告集 1997;第37号(計画系):433-436.
- 10) 大西一嘉：地震時人的被害と災害医療・救護マネジメント. 東濃地震科学研究所報告 2000;NO. 3:19-40.
- 11) 正木和明, 小池則満, 廣内大助, 他：地域防災カルテの作成. 第24回日本自然災害学会学術講演会概要集 2005:213-214.
- 12) 田伏久之, 吉岡敏治, 田中裕, 他：大規模災害時における広域搬送システム—とくに救急ヘリ搬送体制の重要性について—. 日本集団災害医学会誌 2006;Vol. 10 NO. 3:259-269.

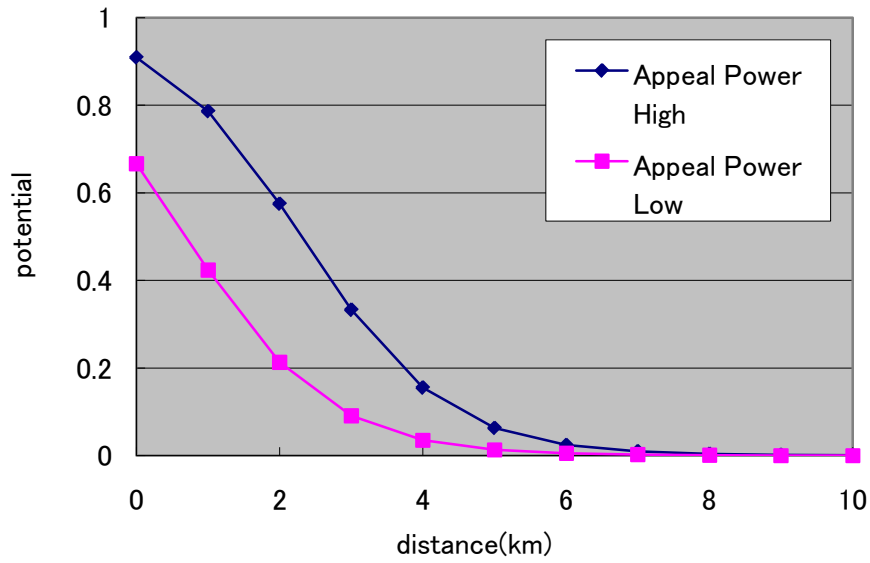


Fig.1 Relation between potential and distance

A logistic curve is adjustable by changing some parameters. One shows a high hospital appeal power (setting the  $m_j=1.0$ ), the other is a low (setting  $m_j=0.3$ ).

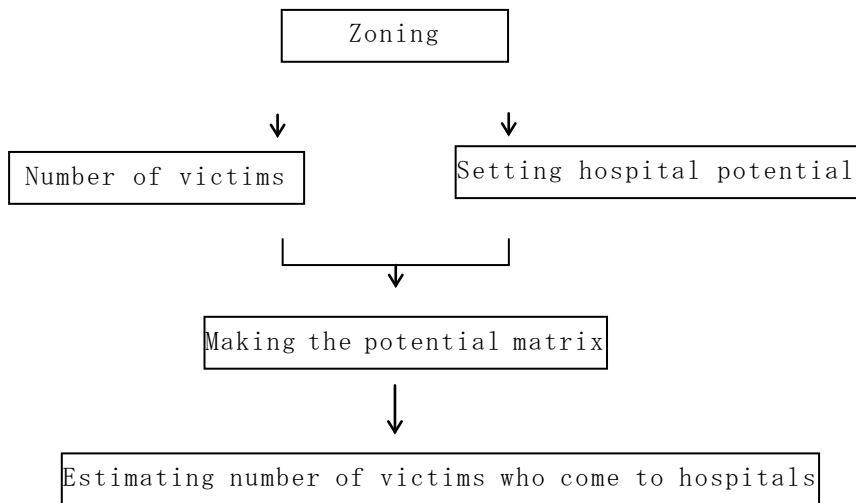


Fig. 2 The calculation flow

A city area is divided into elementary school areas. The number of victims in each area is estimated by a damage situation. The hospital potential equation is set through questionnaire surveys and some conditions. The apportion of victims to each hospital is done in the potential matrix.

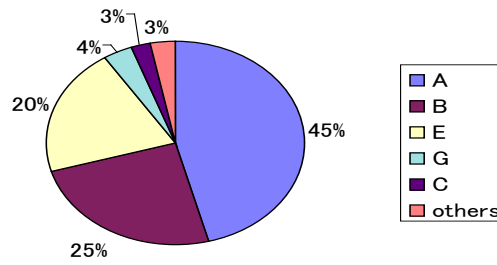


Fig.3 The ratio of hospitals that victims may go to 90% of respondents would concentrate in only three hospitals.

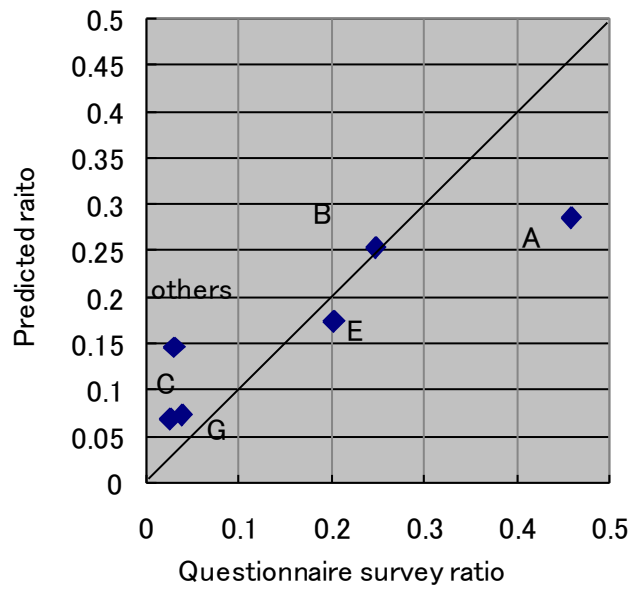


Fig.4 Comparison between actual ratio by a questionnaire survey and predicted ratio. A point on a diagonal line shows a match between the predicted and questionnaire survey ratios. Most hospitals are marked near the diagonal line with the exception of hospital A.

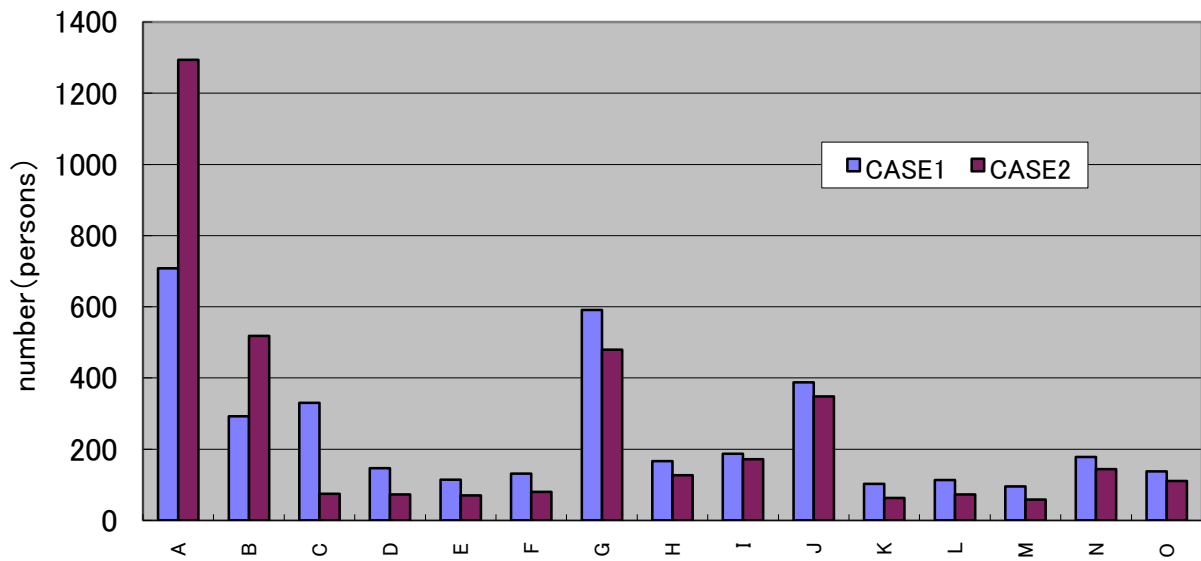


Fig.5 Result of even damage on Toyota city

Fig.5 shows the result of even damage on Toyota City. Case1 shows the result of using parameters for Nishinomiya city. Case2 shows the result by questionnaire survey in Toyota city. In both cases, hospitals A,G and J will be overcrowded by the injured, while the other hospital will not.

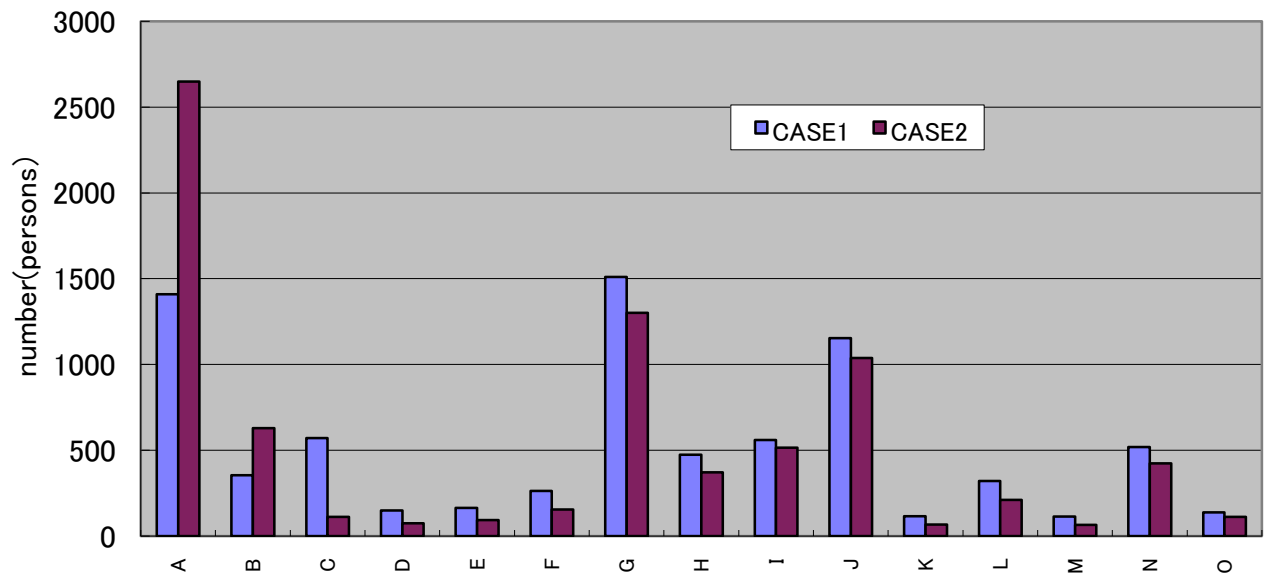


Fig.6 Result of great damage on the south area of Toyota city

Fig.6 shows the results of great damage on the south area. Hospitals A,G and J will be overcrowded by the injured, too. Especially, hospital J will be in a serious condition, because there will be too many injured persons to treat. Medical teams will be needed to go the area around Hospital J.

# 震災時における負傷者広域搬送システムを支える道路網整備 に関する研究

## 1.はじめに

震災時において同時に多数発生する負傷者を迅速に治療し人命を救うことは、災害救助活動の最重要項目である。しかし、被災地内は医療機関も損傷を受けているほか、受け入れ能力を超える負傷者により、十分な医療を提供できない恐れがある。そのため、正常に機能している医療機関への広域搬送の必要が生じる。こうした課題に対して、広域搬送システム構築の必要性が指摘され、その方法について災害医学分野等で活発に論じられている<sup>1)</sup>。

こうした震災時の広域搬送の要請に対して、道路ネットワークが維持され、スムーズに搬送されるのが理想であるが、実際には多くの道路が地震動による損傷にあるいは物資輸送や避難、安否確認等の交通需要によって麻痺するおそれが高い。また、震災時といえども搬送先に関して負傷者家族の意向も無視できない。すなわち、その地域の医療がどの地域と結び付きが深いかを考慮した上で、地理的状况や道路網からどの方面への搬送が有効か、あらかじめ検討しておく必要がある。

負傷者搬送活動に関わる研究として、小池らは負傷者流動の予測モデル構築や大規模事故における搬送活動に関する研究を行っているほか<sup>2)</sup>、乗京らによる広域搬送に関する研究があるが<sup>3)</sup>、道路網との関連については論じられていない。災害時における道路ネットワークに関する研究は多く蓄積されており、たとえば南らは医療機関へのアクセスを2系統で保証する道路ネットワークについて考察している<sup>4)</sup>。これらの研究により医療機関を結ぶ道路網の信頼性、特に冗長性に関する知見を得ることはできると考えられるが、多数負傷者の広域搬送需要に応えるための相対的な重要度を合わせて明らかにする必要があると考えられる。

そこで、負傷者搬送のための広域的な道路網のあり方について論じる一つの方法として、都道府県程度の大きさの地域をいくつかの地域に分け、地域間の負傷者広域搬送の需要を考え、実際の道路網に重ね合わせて、道路網の重要性を捉える方法を考える。この方法は地区内の詳細な移動ルートなどは明らかにできないが、災害シナリオごとに多数負傷者の広域搬送需要を予測し、地域間を結ぶ幹線道路の重要性について評価する目的においては有効な方法であろう。

## 2.分析方法

震災時における広域搬送先の決定には、負傷者や家族の意思、地震による被害の程度、傷病度等によって、方針が明らかになるものと考えられる。どの地域の医療機関からどの方面の医療機関へ、どの程度の人数を搬送するのか、という広域搬送の需要は、ある地域間においては双方向に生じることも考えられるし、一方通行に

なることも考えられる。

こうした相互関係を表す手法として、ソシオメトリーと呼ばれるものがある。ソシオメトリーとは、集団の構成を分析することに用いられる手法のひとつであり<sup>5)</sup>、簡単に集団構成員の関係を図示でき、直感的に特性の把握ができるという長所がある。適用事例として、地理的な人口流動を示す方法として、市町村合併の枠組みと交通流動の関連性分析に応用した研究<sup>6)</sup>や地域連携の現状を分析するモデルとしての有用性を検討した研究もある<sup>7)</sup>。

このソシオメトリーを用いることで、相互に多くの負傷者が広域搬送を望む地域は一つの広域医療圏として考えるべきことや、送り出し側と受け入れ側の医療圏の関係を明記することができると考えられる。また、その関係図に道路ネットワークを重ね合わせることで、道路網計画に対しても知見を得ることを試みる。

### 3. 負傷者広域搬送の分析方法

#### (1) 本研究のフロー

本研究では、ソシオメトリーによる広域流動需要の把握と重要道路の評価について、図-1によるフローで行うこととする。

まず、震災時において二次医療圏（以下、医療圏）を単位地域として設定する。これは、災害拠点病院のうちの地域災害医療センターが二次医療圏に原則として1カ所ずつ整備されていること、医療に関する統計が二次医療圏別にまとめられていることなどが理由である。

次に、地域間を移動しなくてはならない負傷者の状況を考える。ここでは負傷者数予測、医療機関の被害予測、被災した医療機関の受け入れ能力の予測など、多くの不確定要因が重なる。本研究では、これらをパラメータとして後に操作できるように、モデリングを工夫する。

広域搬送の需要を移動マトリクスにまとめたら、ソシオメトリーの手順にしたがって、医療圏集団と相互関係を計算し、図示する。さらに各医療圏をまたぐ緊急輸送道路の重要度を判定する。

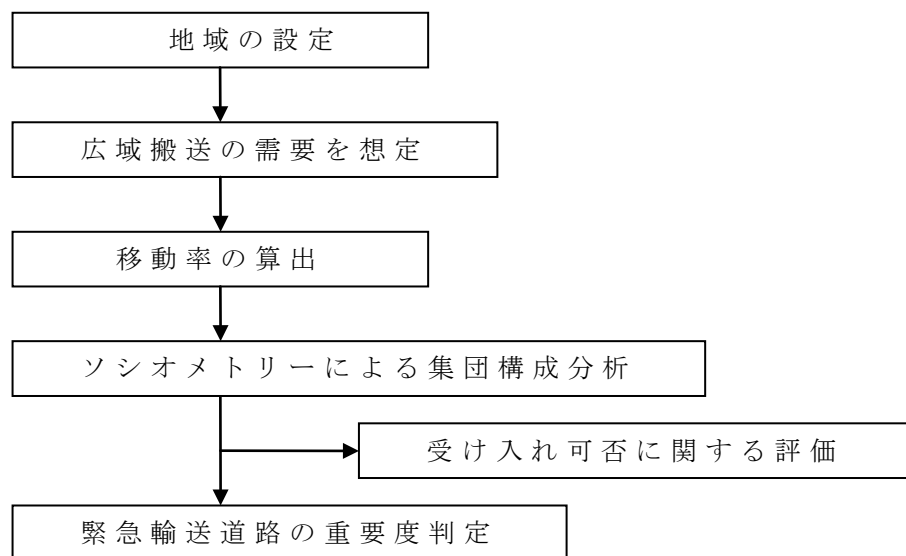


図-1 本研究のフロー

## (2) 広域搬送の需要

震災時に負傷者が病院に向かう際、近い病院や普段通っている病院の他に、認知度が高い病院を選ぶ傾向があり、病院の選択において影響を及ぼす要因のひとつとされている<sup>8)</sup>。したがって、広域搬送が必要とされた負傷者は、なじみのある他の医療圏へと向かうものと考えられる。

そこで本研究では、医療圏間の人の移動を表すものとして、平常時の一般病床の入院患者動向から、医療圏外に診療を受けに行っている人の比率である医療圏間の依存率を求めて地域間依存率とし、単位地域内で対応できなかった負傷者を他の単位地域へ分配する際に用いる。地域間依存率を式(1)より求める。

$$W_{ij} = \frac{X_{ij}}{100 - Y_i} \cdot 100 \quad (1)$$

ここで、 $W_{ij}$ ：医療圏*i*から医療圏*j*への地域間依存率（%）

$X_{ij}$ ：医療圏*i*から医療圏*j*への一般病床移動率（%）

$Y_i$ ：医療圏*i*における自地域依存率（%）

平常時の入院患者動向には、病院の魅力度やアクセス交通などの地域状況による影響も入っていると考えられるため、医療圏間の人の動向を示す基礎データに足ると考える。

## (3) 移動率の算出方法

式(2)より医療圏*i*から医療圏*j*への移動する負傷者数 $N_{ij}$ を求める。次に式(3)に示すとおり、他の医療圏へ流出する負傷者数の合計で $N_{ij}$ を割ることで、移動率を算出する。医療圏*i*から流出する負傷者数 $P_i$ については、医療圏における空き病床数と、医療圏における負傷者数の差から算出する。

$$N_{ij} = \{N_i - B_i(1 - b_i/100)\} * W_{ij} / 100 \quad (2)$$

$$p_{ij} = \frac{N_{ij}}{\sum_{i=1}^n P_i} \quad (3)$$

ここで、 $N_i$ ：医療圏*i*で発生する負傷者数（人）

$B_i$ ：医療圏*i*内の病床数（床）

$b_i$ ：医療圏*i*の一般病床利用率（%）

$n$ ：対象地域内医療圏数

$P_i$ ：医療圏*i*から流出する負傷者数（人）

分母に対象地域全体の負傷者数を用いることで、式(3)で算出される移動率 $p_{ij}$ から

得られる分析結果は対象地域全体で見た中での移動の様子を示すことになる。移動率は、災害時の病床数および負傷者数より広域搬送が必要となった負傷者数から計算される指標であり、平常時のデータに基づく地域間依存率とは異なるものである。

#### (4) ソシオメトリーによる集団構成分析手法

負傷者の広域搬送需要による単位地域の集団構成の流れは図-2の通りである。

##### 1) 移動マトリクス表

式(2)を用いて、医療圏から医療圏への移動マトリクスを作成する。

##### 2) 移動率表

式(3)を用いて、移動率を算出する。

##### 3) 隣接行列

隣接行列は、実際に交流のある地域間の関係を表すものであり、求められた移動率のうち採用する移動率、今回の医療圏*i*から医療圏*j*へ「場合2%以上を流れがある」として1、2%未満を0としたものを行列Aとする。*j*行*i*列 (*i=j*) として、行列Aの列は医療圏*i*から医療圏*j*への関係を示している。ソシオメトリーでは、移動率の関係を図示したい場合には4) 交流グラフを作成できるが、本研究では省略する。

##### 5) 到達行列

医療圏*i*から医療圏*j*へパスがあれば医療圏*i*から医療圏*j*へ交流可能であるから、 $r_{ij}=1$ 、なければ $r_{ij}=0$ として到達行列Rで表す。行列記号式を式(4)に示す。

$$R=(I+A+A^2+\dots+A^n)\#=(I+A)^n\# \quad (4)$$

式(4)に従ってRを求めるには、 $R_1=I+A$ 、 $R_2=(I+A)^2\#$ 、 $\dots$ 、 $R_k=(I+A)^k\#$ 、 $R_{k+1}=R$ を計算する。ここで、I: 単位行列、#: ブール算法である。

##### 6) 連結行列

連結行列Cは地域*i*と地域*j*が非連結ならば0、一方連結ならば2、強連結ならば3を*j*行*i*列目に記入することによって得られる。医療圏*i*と医療圏*j*どちらかに成分があれば、行列記号によって式(5)で表される。

$$C=R+R'+1 \quad (5)$$

ここで、R'はRの転置行列である。また、 $r_{ij}$ 、 $r_{ji}$ がともに0ならば、 $c_{ij}=0$ とする。この連結行列により強連結成分が得られ、医療圏を並べ替えることによって7) 集団Gを決定することができる。これに従って隣接行列Aを並べ替えたものを行列Bとする。

##### 8) 凝縮行列および9) 凝縮グラフ

行列Bより凝縮行列A\*を作ることができる。また、 $G_i$ から $G_j$ に定向線が存在する場合、凝縮グラフD\*を描くことができ、本研究では地図上に重ねて示すこととする。

以上の手順により、どの医療圏からどの医療圏へ負傷者を搬送したいか、という

方向が明確になること、また、医療圏相互に関係の深い場合には、単一の集合として表現されるため、一体的に対応しなくてはならないこと、などをシナリオごとに明確にすることが期待できる。

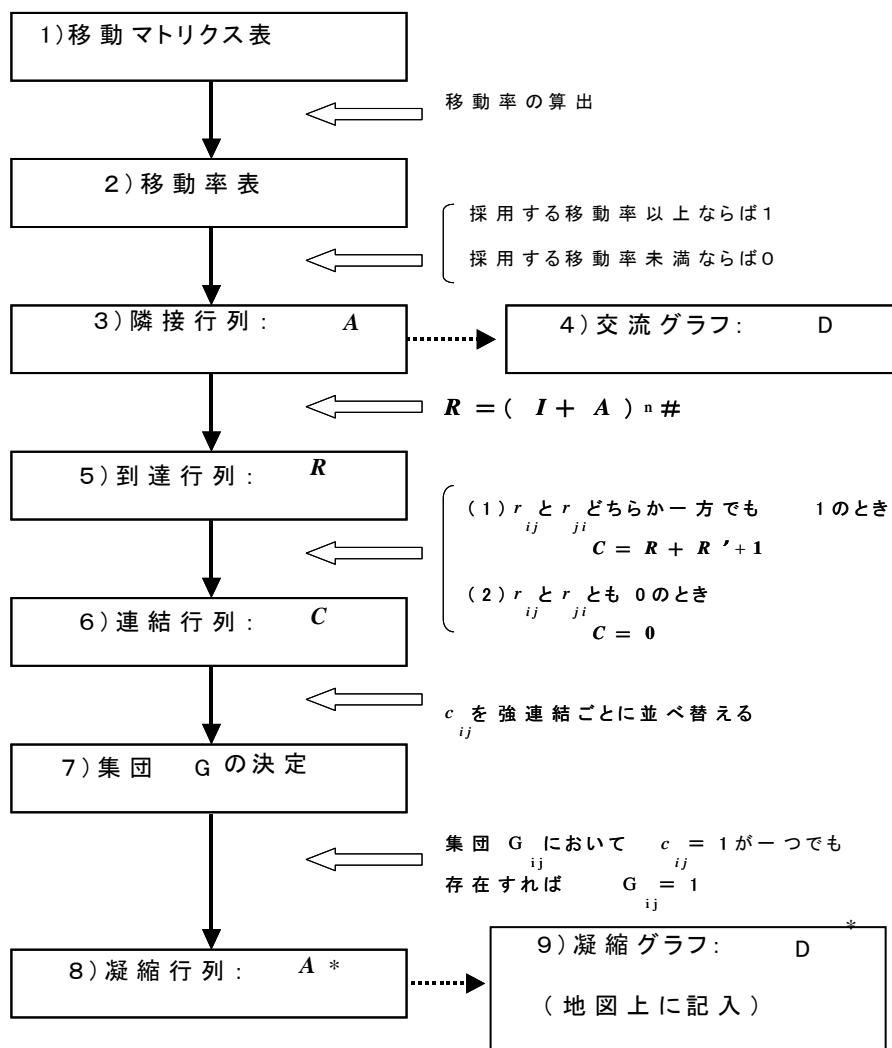


図 - 2 ソシオメトリーによる集団構成分

### (5) 受け入れ可否判定に関する分析方法

広域搬送需要の分析結果については、負傷者の動きが矢印で表現されるが、それら負傷者の動きは受入れ先で受け入れてもらえるかどうかに関係なく発生する。そこで実際に受入れ側医療圏が対応できるかどうか、つまりその矢印が有効かどうか確認するために受け入れ可否判定をおこなわなければならない。震災時における医療機関の受け入れ能力については、医療機関の被災による能力低下も考えられる一方で、救援やスタッフの献身的活動による能力向上も考えられるが、本研究では、単純に空床数を受け入れ可能人数と設定することにする。この値はパラメータとして設定できることから、今後の災害医療分野における研究の蓄積により、より根拠ある設定が可能となろう。

### (6) 重要度ランクつけの方法

道路別にどれだけの負傷者が通過するか、利用状況予測を医療圏境ごとに行う。

医療圏をまたぐ道路は複数ある場合には、移動する負傷者をルートごとに割り当てる必要がある。また、一つの医療圏から複数の医療圏への移動が予測された場合、発生する負傷者がどの医療圏へ向かうか、決定する必要がある。本研究では、市町村別の被害予測より、負傷者は各市町村を出発地として医療圏*i*の*p*町から受入れ医療圏*j*へ移動する負傷者数 $P_{pj}$ を式(6)より求める。

$$P_{pj} = P_{ij} \cdot \frac{S_p}{\sum_{p=1}^I S_p} \quad (6)$$

ここで、 $P_{ij}$ : 医療圏*i*から医療圏*j*へ移動する負傷者数 (人)

$I$ : 医療圏*i*の市町村数

$S_p$ : *p*町から流出する負傷者数 (人)

式(6)により明らかになった市町村*p*からの受入れ医療圏*j*への移動する負傷者は、最短距離を選択するものとして、医療圏をまたぐ道路ごとに通過負傷者数を配分する。最短経路としたのは、一般的に搬送距離がより短い方が負傷者に与える様々なリスクを低減できると考えられるからである。最後に、医療圏をまたいで移動する負傷者数合計に対する割合を式(7)より求め負傷者通過率 $C_k$ とし、緊急輸送道路の利用状況をランク分けする際に用いる。

$$C_k = \frac{R_k}{T} \cdot 100 \quad (7)$$

ここで、 $R_k$ : 緊急輸送道路*k*を通過する負傷者数 (人)

$T$ : 対象地域内移動者数 (人)

ランク付けは表-1に示すように負傷者通過率を基準に行う。また、医療圏集団内の道路は双方向の負傷者移動が考えられるため、負傷者通過率10%以上の道路とともに最重要路線と設定する。重要度の判定は当該地域内における相対的なものであるとともに、ランク分けの境界値を変更すれば当然のことながら結果を変更できる。したがって災害シナリオや医療活動全体を見渡して、設定し結果を解釈すべきと考えられる。

表-1 利用状況によるランク付け

利用状況	ランク
集団内道路	最重要路線
負傷者通過率10%以上	
負傷者通過率1%以上10%未満	重要路線

#### 4. 負傷者流動と受入れ可否判定の結果

##### (1) 対象地域と想定地震

本研究では、愛知県に提案したモデルを適用し、有用性を検討する。災害想定としては、愛知県防災会議資料<sup>9)</sup>において示されているもののうち、想定東海地震、

想定東南海地震および養老－桑名－四日市断層の3シナリオにおける冬の早朝5時に発生したケースにおいて示されている各地域の負傷者発生数等を代入するとともに、愛知県の入院動向<sup>10)</sup>のデータを用いて移動率を算出する。緊急輸送道路は、広域的な緊急輸送を対象とした第1次緊急輸送道路をとりあげる<sup>11)</sup>。緊急輸送道路が医療圏をまたぐ箇所は45箇所あり、それぞれの場所の負傷者通過率 $C_k$ を求める。

(2) 広域搬送の需要に関する結果

a) 想定東海地震

図-3に、東海地震が発生した場合の負傷者流動予測の凝縮グラフと受入可否判定の結果を示す。これをみると、震源地に近い東三河北部医療圏・東三河南部医療圏（以下「医療圏」省略）は相互の負傷者流動が多いことから、ひとつの医療圏として凝縮グラフでは表現されている。また、全体に、県東南部から県北西部に向かって負傷者流動が生じている。尾張北部、尾張東部への流れは受入れ可能だが、名古屋への流れは受入れ不可能である。したがって、尾張北部、尾張東部、またここでは流れが現れていないが西三河北部へ負傷者を搬送すれば、より混乱の少ない医療活動が期待されると考えられる。知多半島は被災地でもある西三河南部に依存することになり、受入れは難しく、知多半島の負傷者を尾張東部や西三河北部へ誘導する必要がある。

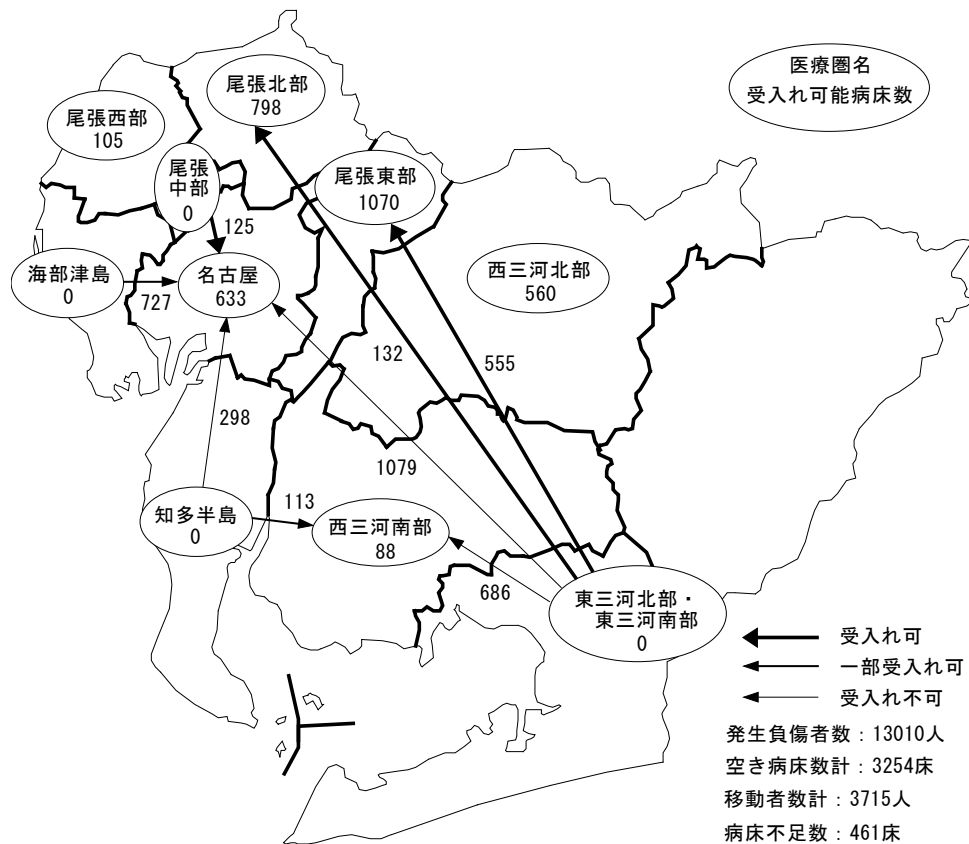


図-3 負傷者流動と受入れ可否判定

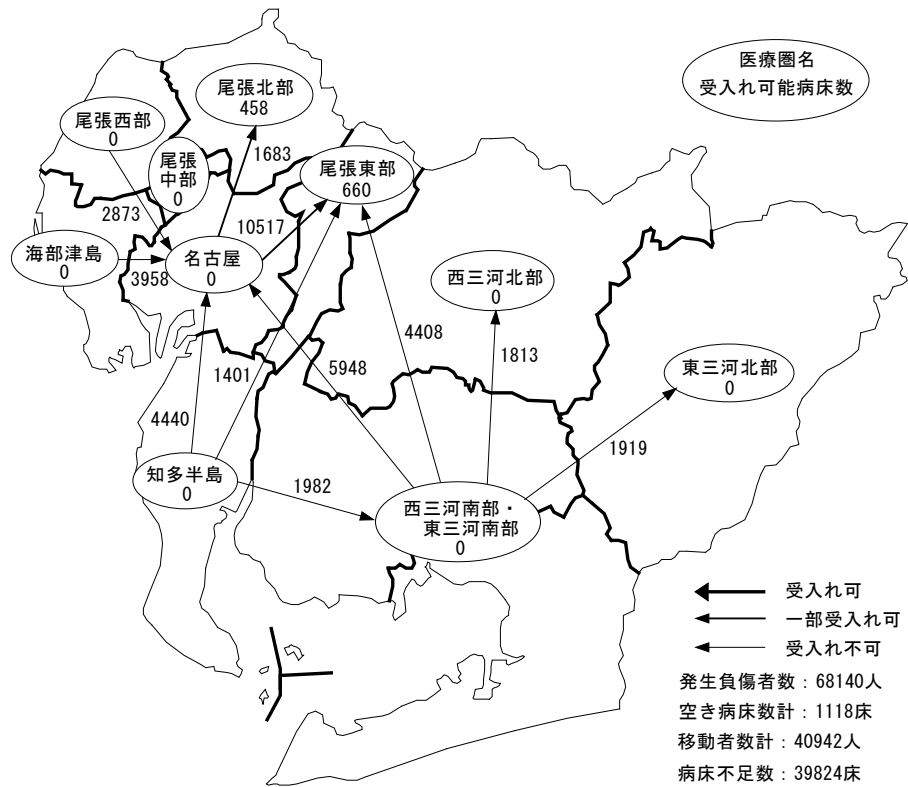


図 - 4 負傷者流動と受け入れ可否判定  
(想定東海・東南海地震連動)

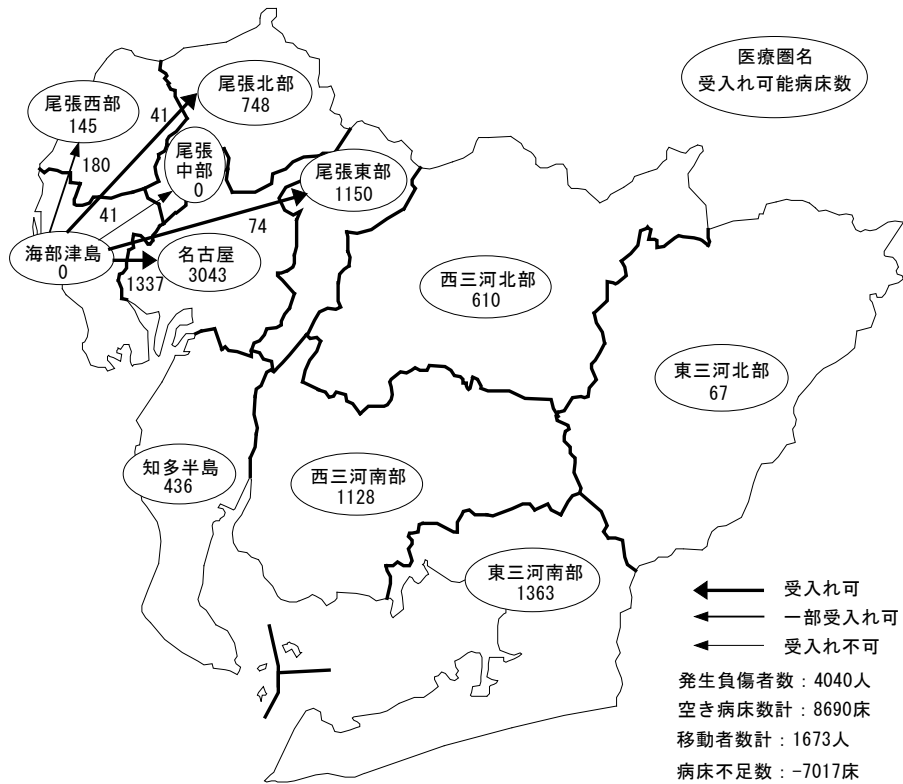


図 - 5 負傷者流動と受け入れ可否判定  
(養老-桑名-四日市断層帯)

**b) 想定東海・東南海地震連動**

図－４に、想定東海・東南海地震連動が発生した場合の負傷者流動予測の凝縮グラフと受入可否判定の結果を示す。これをみると、被害の大きい西三河南部と東三河南部がひとつの医療圏として表示されている。これに知多半島もあわせて、全体に県南部から県北部に向かって流動が生じることがわかる。県内で発生する負傷者の規模が大きいため、尾張東部、尾張北部でも、医療圏内の負傷者に対応するため受入れ対応能力が多少低下する可能性があるが、受入れ地として重要な役割を持つと予想される。名古屋は完全に被災地となるため、名古屋に依存している海部津島、尾張西部の負傷者は隣接する三重県や岐阜県に受け入れてもらう必要があるだろう。

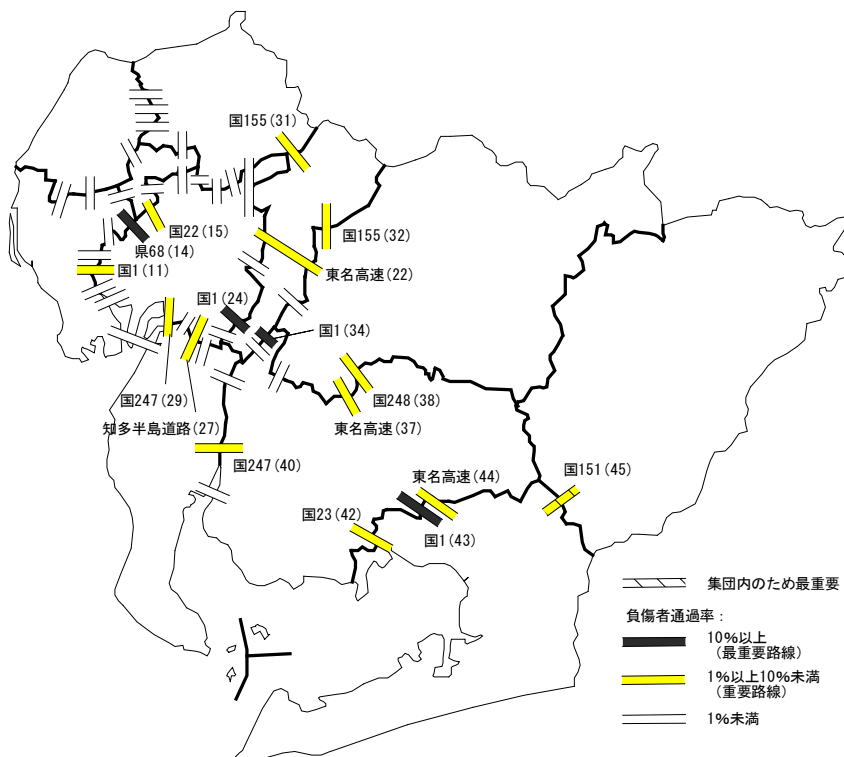
**c) 養老-桑名-四日市断層帯**

図－５に、養老-桑名-四日市断層帯による地震が発生した場合の負傷者流動予測の凝縮グラフと受入可否判定の結果を示す。唯一、負傷者が流れ出す結果となった海部津島から周辺医療圏への流れがある。他の災害シナリオと比較して矢印1本当たりの移動人数が非常に少なく、県西部内で負傷者に対応できる。

**(3) 重要度ランクつけの結果**

**a) 想定東海地震**

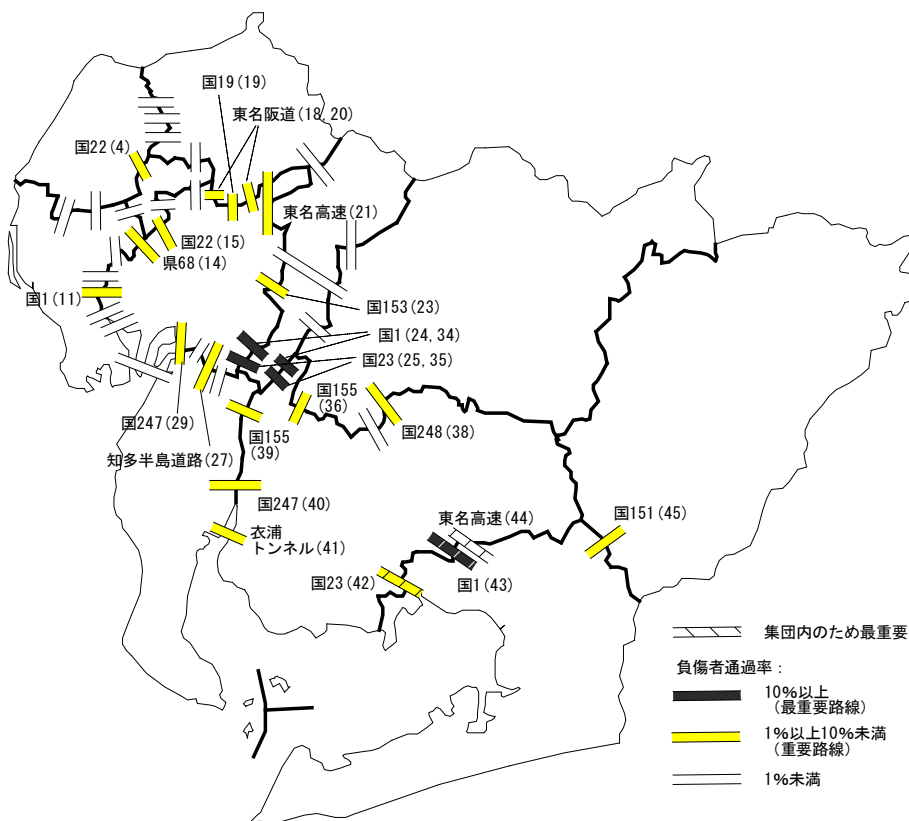
図－６に想定東海地震の重要度ランクつけ結果を示す。図中の（）内の数値は、医療圏境の番号をふっている。集団を構成する東三河北部・東三河南部間にある国道151号が最重要路線となったほか、負傷者通過率が10%以上となった4本の緊急輸送道路を合わせた計5本が、震災時の負傷者搬送のための重要度が高い道路と考えられる。



図－６ 利用状況予測結果  
(想定東海地震)

**b) 想定東海・東南海地震連動**

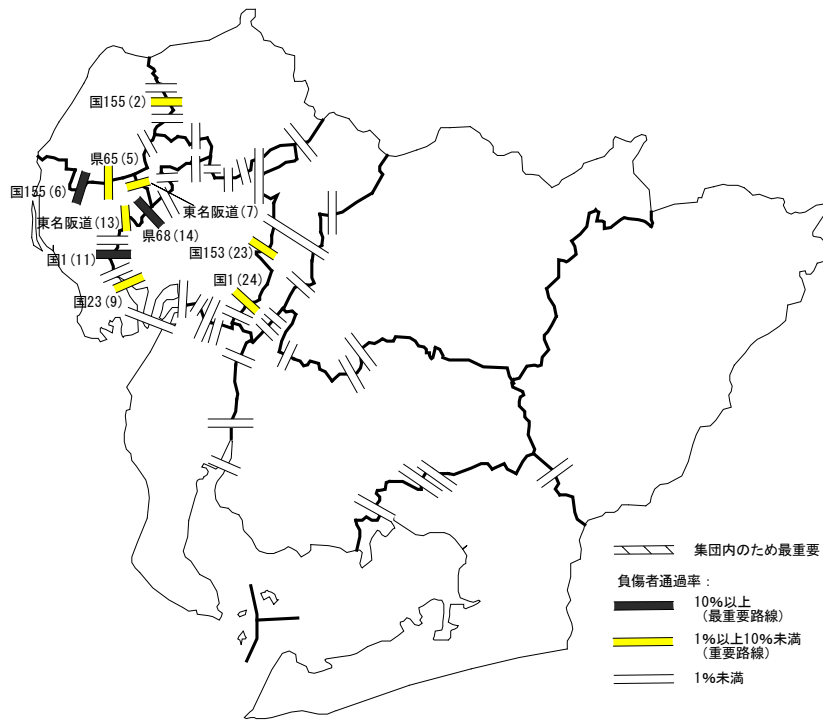
図－7に想定東海・東南海地震連動の重要度ランク付け結果を示す。集団を構成する西三河南部・東三河南部間にある3本の道路が最重要路線となったほか、負傷者通過率が10%以上となった4本の緊急輸送道路を合わせた計5本が、震災時の負傷者搬送のための重要度が高い道路と考えられる。



図－7 利用状況予測結果  
(想定東海・東南海地震連動)

**c) 養老-桑名-四日市断層帯**

図－8に養老-桑名-四日市断層帯の地震を想定した重要度ランク付け結果を示す。これをみると負傷者通過率が高い道路の分布は県西部に収まっていることがわかる。これは海部津島のみから負傷者が南西から北東方向へ移動するためである。



図－8 利用状況予測結果  
(養老-桑名-四日市断層帯)

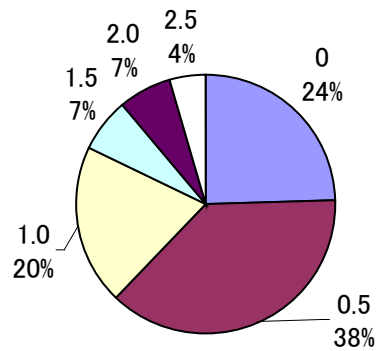
#### (4) 各災害シナリオの比較

各災害シナリオにおける医療圏境のランク付け結果が表－2である。「最重要」数と「重要」数を見てみると、被害が大きい想定東海・東南海地震連動において重要とされた道路数が最も多くなっている。この理由としては、被害が大きい災害シナリオほど広域的な移動が多くなり、負傷者が複数の道路を通過して受入れ医療圏へ向かうため、全体に負傷者通過率が上昇するためと考えられる。

また、「最重要」を1.0、「重要」を0.5として評点化したものを「総重要度」として、45箇所の医療圏境について集計したものを図－8に示す。これを見ると、総重要度が「0」、すなわち、それぞれのシナリオにおいて「最重要」、「重要」に該当しなかった医療圏境が約1/4あるが、ほかの3/4については、いずれかのシナリオで、「重要」等と判断されることがわかる。特に、総重要度が「2.0」、「2.5」と高い約13%（5箇所：図－6～8の(11),(14),(24),(34),(43)が該当）の医療圏境については、対応が求められよう。

表－2 負傷者通過率によるランク付け道路数

医療圏境 NO.	想定東海地震	想定東海・東南海地震連動	養老－桑名－四日市断層
最重要数	5	7	3
重要数	12	17	7



図－9 総重要度の計算結果

### (5) 地域防災計画への提言

愛知県における負傷者の広域搬送需要を考慮した防災計画策定についての知見をまとめれば、以下のようなになる。

1) 今回想定した災害シナリオでは、いずれのケースでも県南部より北部への流動が多く、特に尾張東部は受入医療圏として重要な役割を果たすことが予想されることから、医療機関およびアクセスの整備が必要である。名古屋瀬戸道路をはじめとするいくつかの高規格道路の整備が進められており、それらの整備が傷病者搬送態勢にどのような効果をもたらすか、分析を進める必要がある。

2) いずれのシナリオにおいても「最重要」、「重要」とならない路線が約1/4存在する一方で、特に総重要度の高い医療圏境が見られる。特に、東三河南部から他医療圏を結ぶ道路の重要度が高く、建設中の名豊道路（国道23号線）の整備が望まれる。

## 5. まとめ

本研究では、ソシオメトリーを用いて震災時における負傷者の広域搬送需要を想定し、受入れ可否判定、緊急輸送道路の重要度判定する方法を提案し、それを愛知県へ適用した。その結果、負傷者の広域搬送需要がわかりやすく地域間の関係として図示されるとともに、緊急輸送道路網を重ね合わせることによって、重要度のランク付けを行うことができた。これらの結果は、特に震災直後の急性期における広域搬送活動の計画をたてるための有益な情報になると考えられる。また、負傷者発生 の想定データを入れ替えれば様々な災害シナリオに対応できることも長所である。

本モデルに対する今後の課題としては以下の点が上げられる。

1) 負傷者の広域搬送計画は、本来、災害医療計画と一体的なものである。広域搬送需要は各病院が属する地域における人的・物的被害の程度、医療救護チームの受入れ状況等により大きく変わってくる。新潟県中越地震では、負傷者のみならず透析患者などの広域的な移動が行われたとの記録があり<sup>12)</sup>。本研究でのモデルにおいても、傷病度や疾病種別のデータを組み込んで移動マトリックスや移動率表を作成できれば、より現実に近い負傷者広域搬送の需要を算出でき、受け入れ可能数を考

慮した搬送システムについての議論を深めることが出来るだろう。

2) 長距離搬送にはヘリコプター等を使用した方が有利である。阪神淡路大震災における負傷者の傷病やその程度を時系列的に整理し、ヘリコプターによる搬送を想定した議論も災害医学分野でも行われている<sup>13)</sup>。今後、搬送手段種別を考慮した総合的な搬送計画の策定が必要であり、それを支援するモデルへ発展させることが求められる。

いずれにせよ、本題は医療活動に関わる評価であり、災害医学分野での知見に十分留意しながら議論を深め、本研究において設定した仮定的なパラメータを現実的なものにすることが必要である。また、データ入手可能性に依るが、実際の災害事例に適用して妥当性を検証するのも、残された重要な課題である。

#### 【参考文献】

- 1) 判田乾一(2006)「大規模震災発生時の広域搬送計画について」,日本集団災害医学会誌,Vol. 11, No. 1, pp. 1-6
- 2) 小池則満, 秀島栄三, 山本幸司, 深井俊英(2002)「災害時における負傷者搬送活動の評価指標に関する基礎的研究」,土木学会論文集, No. 709, 4-56, P. 71-79
- 3) 乗京和生, 小池則満, 栗田敬司, 秀島栄三, 山本幸司(2004)「震災時の災害拠点病院連携に向けた負傷者流動の分析」,日本集団災害医学会誌, 第9巻, 第1号, PP. 19-25
- 4) 南正昭, 高野伸栄, 加賀屋誠一, 佐藤馨一(1997)「拠点的医療施設へのアクセスを2系統で保証する道路ネットワーク構造」,土木計画学研究・論文集, No. 14, pp679-686
- 5) 西田春彦, 新睦人(1976)「社会調査の理論と技法(Ⅱ)」,川島書店
- 6) 小池則満, 五味翔太, 乗京和生(2005)「交通流動による集団構成分析と市町村合併の関連性分析」,土木計画学研究・講演集, Vol. 32, CD-ROM286, 2005.
- 7) 古川孝, 深井俊英, 小池則満(2002)「ソシオメトリーによる地域連携特性の評価指標に関する研究」,愛知工業大学研究報告書, No. 37, pp139-148
- 8) 小池則満, 宇治和幸, 秀島栄三, 山本幸司, 深井俊英(2001)「震災時における負傷者行動特性と搬送計画に関する一考察」,土木計画学研究・論文集 Vol. 18 no. 2, pp325-330
- 9) 愛知県防災会議地震部会(2003)「愛知県東海地震・東南海地震等被害予測調査報告書—想定地震に基づく被害想定—」
- 10) 愛知県地域保健医療計画(2001),愛知県健康福祉部医療福祉計画課
- 11) 愛知県防災会議事務局編(2003)「愛知県地域防災計画—地震災害対策計画—(平成15年6月修正)」
- 12) 新潟県病院局(2004)「平成16年新潟県中越地震 県立病院地震被害状況一覧」,平成10月28日午後5時現在(第17報)
- 13) 田伏久之, 吉岡敏治, 田中裕, 塩野茂, 松阪正訓, 当麻美樹, 上田宣夫, 岸本正文, 尾中敦彦, 山本拓巳, 切通雅也, 渡瀬淳一郎, 平方栄一, 間中智哉, 宮原永治, 大坪里織(2006)「大規模震災発生時の広域搬送計画について」,日本集団災害医学会誌, Vol. 11, No. 1, pp. 1-6

# 高速道路事故におけるドクターヘリコプターを活用した

## 救急活動に関する研究

### 1. 背景

高速道路では、多重衝突による多数傷病者発生や、重傷者発生のリスクが高いと考えられる。そこで、救急医療専用のヘリコプター、いわゆるドクターヘリコプター（以下、ドクターヘリ）を高速道路の本線上に着陸させ、早期の治療開始と傷病者の搬送を行うことにより、高速道路事故での死亡者の低減をはかることが求められてきた<sup>1)</sup>。写真-1、写真-2は、伊勢湾岸自動車道や建設中の第2東名高速道路で行われた離着陸訓練の様子である。このような訓練を重ねられ、離着陸ポイントが確保されるようになれば高速道路本線上への着陸は可能である。しかし、高速道路上には多くの障害物があるほか、幅員もさまざまであるため、離着陸ポイントをその場で選定することが難しく、客観的な基準づくりが必要とされた。

そこで、平成17年8月に離着陸難易度を示すランク付けを行うことが4省庁（警察庁、消防庁、厚生労働省、国土交通省）より通達され、各地の高速道路本線でランク付け作業が行われている<sup>2)</sup>。あわせて離着陸訓練も各地で行われているなど、その環境が整えられつつある<sup>3)</sup>。

さらに、平成19年6月19日に成立した、救急医療用ヘリコプターを用いた救急医療の確保に関する特別措置法<sup>4)</sup>においても、ドクターヘリの離着陸場所に関して、国、都道府県、市町村、道路管理者は離着陸場所の確保に努めるものと定められた。ドクターヘリの機数も次第に増えていく中、今後さらに高速道路本線上への離着陸の要請が高まると考えられる。一方で、一般ドライバーの認知度、交通規制を行うための態勢づくりなど、安全で円滑な本線着陸を伴う活動を行うための課題も多く指摘されている。



写真-1 伊勢湾岸道における離着陸訓練の様子



写真－２ 建設中の第２東名高速道路における離着陸訓練の様子

## 2. 研究の目的

交通事故の軽減を目指す施策に対する経済効果については、武藤らが走行支援道路システム（AHS）導入による経済効果を示すなど、事故を防ぐことによる便益について論じられたものはあるが、事故発生時の傷病者の搬送時間等については、具体的に論じられたものは見あたらない<sup>5)</sup>。また、ドクターヘリを用いた救急の効果については、予後（病気や怪我の経過や、その予測）に関する知見<sup>6)</sup>や、ドクターヘリが無く救命されなかった場合を想定した逸失所得を積算して費用対効果について論じた研究はある<sup>7)</sup>が、高速道路事故へのドクターヘリ対応について、費用対効果を論じた研究は見あたらない。高速道路設備の改善方法や、連携体制の強化についての施策の有効性や実施優先順位等を論じるにあたり、救命効果を示すための手法の開発が望まれる。

そこで本研究では、各緊急機関の活動をシミュレートし、各関係機関の到着時間から、傷病者に対して医師による治療が開始される初期治療開始時間を予測する。その結果から、救命率と予後との関連を示したカーラー救命曲線とよばれる概念を用いて、期待される救命効果を示すとともに、費用対効果の評価方法について論じる。以上より、高速道路事故に対するドクターヘリ活用についての提言を行うことを目的とする。

## 3. 研究対象区間の概要

本研究では、図-1に示す通り、東名高速道路の名古屋 I.C(325.4K.P)～宇利トンネル間(262K.P)の上り線を研究対象区間とする。当該区間では、名古屋 IC に道路管理者と県警の基地があるほか、岡崎 IC 付近に県警、豊川 IC 付近に道路管理者の基地があり、これらから事故現場へ緊急車両が出動し交通規制等にあたる。愛知県のドクターヘリは愛知医科大学に、静岡県西部ドクターヘリは聖隷三方原病院に常駐しており、ここから出動する。救急隊は地元消防より最寄の IC から高速道路

内へ進入して現場へ向かう。シミュレーションは、対象区間を5KPごとに区切り、各ポイントへの関係機関の到着時間および初期治療開始を予測する。

この区間を取り上げる理由としては、2機（愛知、静岡西部）のドクターヘリの出動範囲が重なる区間であること、実際に高速道路事故に対して出動事例があること、離着陸難易度ランク付け作業が既に行われていること<sup>2)</sup>などである。



図-1 研究対象区間と関係機関の主要拠

## 4. シミュレーションプログラムによる分析

### 4.1 シミュレーションプログラムの概要

本研究で想定するドクターヘリの参加した救援システムの概要を図-2に示す。まず事故発生を道路管制が覚知し、道路管理者、警察、救急隊が出動する。ドクターヘリは、通常、救急隊からの出動要請をうけて出動するが、本研究では重大事故を想定し、事故発生・覚知と同時に発出するものとする。ドクターヘリの本線着陸は道路管理者、県警高速隊の到着後、離着陸スペースの確保と交通規制が整ってからとなる。

これらの流れにしたがい、初期治療開始までの時間を求める。初期治療開始時間とは、受傷から医師による治療が開始されるまでの時間であり、救急車搬送の場合は病院に到着するまでの時間を、ドクターヘリの場合はヘリが着陸して搭乗する医師の治療が開始されるまでの時間を指す。

本研究で用いるシミュレーションプログラムはGISに組み込んだものである。調査区間での事故発生に対して、救急隊、警察、道路管理者、ドクターヘリが現場へ向かう動きがシミュレートされる。タイムステップは1分であり、時間ごとの動きを地図上に再現することも可能である。

シミュレーションは以下の4つのcaseについて行い、初期治療開始時間について考察する。

case1：救急車が現場で傷病者を収容し、最寄り I C から直近の救急病院へ搬送する場合

case2：ドクターヘリが現状の仕組みで本線へ着陸しドクターによる初期治療が開始される場合

case3：道路管理者もしくは警察単独の交通規制によってドクターヘリが本線へ着陸する場合

case4：ドクターヘリは参加せず、代わりに救急車がすべての SA、PA から高速道路に進入・進出できるように改善した場合

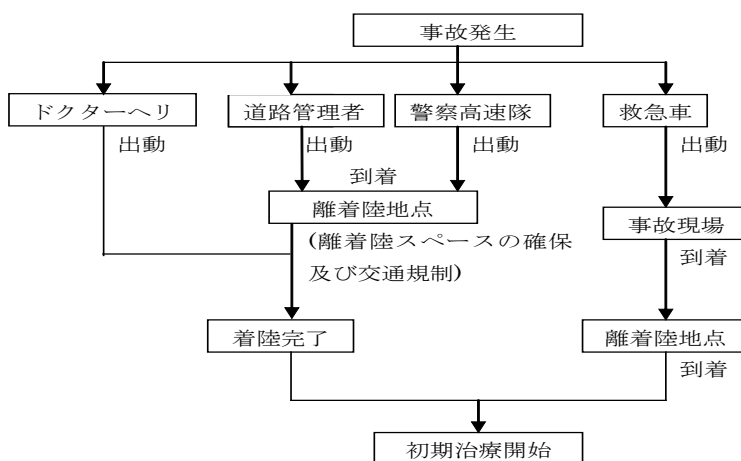


図 - 2 ドクターヘリの参加した救援システム

#### 4.2 パラメータの設定

道路管理者の対象区間における出動記録を基に図 - 3 に示すような走行モデル<sup>8)</sup>を用いて各車両の現場到着時間を計算した。これは、事故地点から事故渋滞がCの速度で伝播し、後方からの車両を渋滞に巻き込みながらのびていくものであり、式(1)によって渋滞長を、式(2)によって、事故渋滞に巻き込まれた場合における走行速度を算出する。

なお、救急隊が一般道を走行する区間については、渋滞は考慮せず、一律に 40km/h で走行するものと仮定した。救急隊の最寄り I C までの走行経路はあらかじめ最短と考えられるルートを設定しておく。また、ドクターヘリの飛行経路は直線とし、200km/h と設定した。

$$L = V_0 \times t_0 + V(t - t_0) \quad (1)$$

$$C = \frac{-V(t - t_0)}{t} \quad (2)$$

ここで、 $V_0$ ：高速道走行速度 (km/h)

- $t_0$  : 渋滞に入るまでの時間 (min)
- $V$  : 高速道渋滞区間走行速度 (km/h)
- $t$  : 事故発生から現場到着までの時間 (min)
- $L$  : 走行距離 (km)
- $C$  : 事故車線渋滞速度 (km/h)

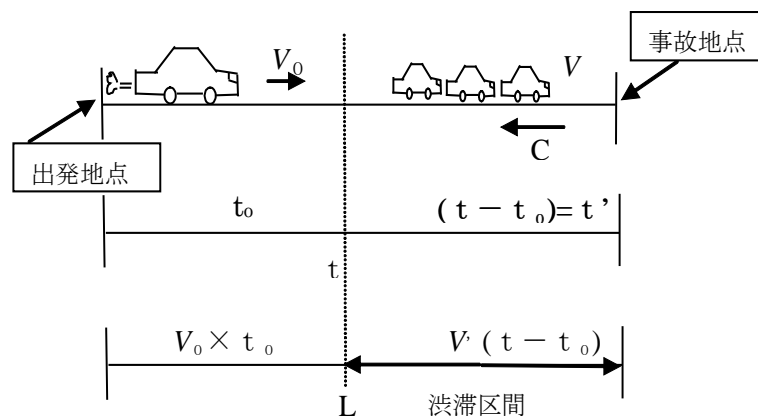


図 - 3 走行モデル

### 4.3 シミュレーション結果

各機関の目標地点への到着時間を図 - 4 に示す。縦軸に事故発生からの時間、横軸に事故想定 KP を示す。図中の表記は、Amb : 救急車、Pat : 警察車両、Con : 道路管理車両、Heli : ドクターヘリ、をそれぞれ示す。

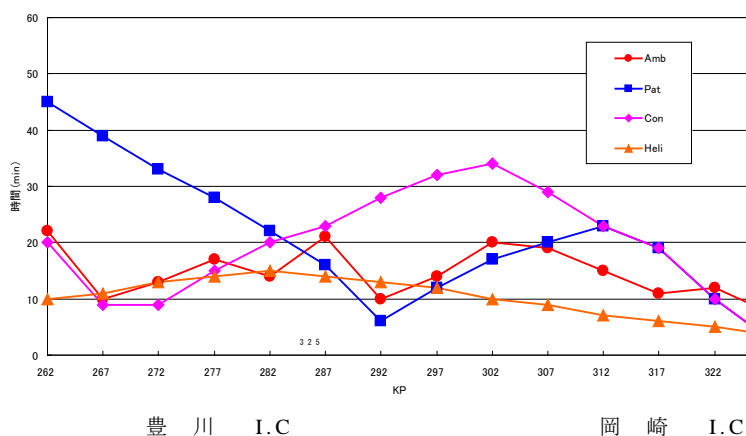


図 - 4 各機関の到着時間

図 - 4 より、救急車は現場到着時間が早く、全区間で 30 分以内の到着が可能であることが分かる。これは、出発地となる消防署が高速道路の I C 付近に多く存在するため、他の車両に比べて事故地点ごとの到着時間に差が少ないことが分かる。道路管理車両、警察は、図 - 1 に示すように県内数カ所に出動拠点があるため、拠点から遠ざかるにつれて到着時間が遅れることが分かる。ドクターヘリは、ほとんどの区間

で他の部隊より早く現場上空に到着しているが、警察及び道路管理者からの地上支援が必要とされているため、数分から数十分の上空待機が生じるものと考えられる。

図-4の結果をもとに、caseごとの初期治療開始時間の比較を行ったものが図-5である。ドクターヘリを活用した搬送のcase2は、通常の救急車搬送case1に比べ、全14箇所中10箇所初期治療開始時間の短縮効果があることが分かる。また、道路管理車両単独の交通規制によるドクターヘリ搬送case3は、現在の交通規制システムによるドクターヘリ搬送case2に比べて4地点で初期治療開始時間短縮に効果があることが分かる。これは、282K.Pより東区間では、道路管理車両の出動拠点が警察車両に比べて近いためであり、最大で25分の初期治療開始時間の短縮となる。case1およびcase4の比較では、救急車がSA,PAから進入すると、9箇所において初期治療開始時間の短縮効果が見られることが分かる。これは、事故渋滞による影響がcase1に比べ少ないためと考えられる。

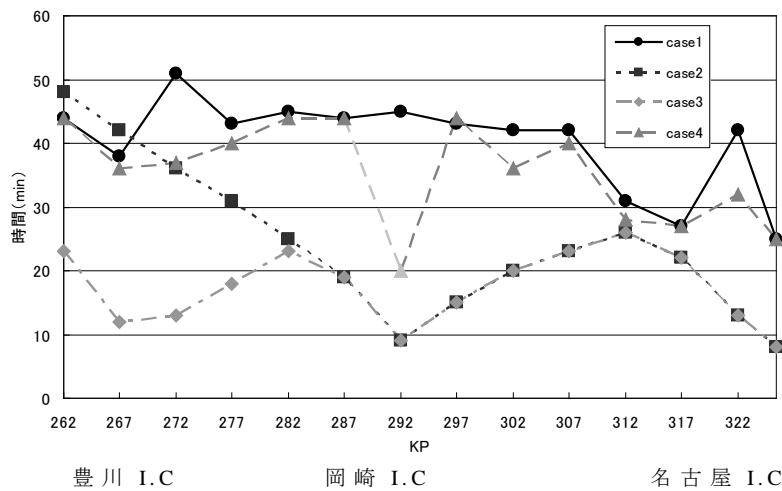


図-5 初期治療開始時間

## 5. 救命機会の可能性に関する結果と考察

ここでは、シミュレーションの結果から、各施策の実行により傷病者の救命機会がどの程度向上すると予測されるか、考察する。

受傷からの経過時間と死亡率の関係を概念的に示したものとして、1981年にM.Caraが報告した『カーラーの救命曲線』<sup>9)</sup>が一般に広く紹介されている。この図-6中に示されている死亡率の中で③多量出血後の死亡率をみると、約10分後から死亡する可能性が高まり、一時間以上経過するとほとんど救命の機会を失うことがわかる。時間と死亡率の関係は線形ではないことから、初期治療が行われるタイミングがある一定時間よりも遅くなると、救命機会が著しく小さくなるおそれがあると推測される。図-5に示したcase別の初期治療開始時間において、③多量出血の救命率曲線より前に初期治療の機会を得る傷病者を重傷、以後となる傷病者は死亡となるものとして、事故地点として想定した計14カ所において予想される死亡率および重傷率を合計し、14で割って算出した平均値を図-7に示す。これをみると、救急車のみのcase1では死亡率が80%を超えることがわかる。一方で、ドクターヘリが参加するcase2、さらに道路管理者もしくは警察のみの到着でドクターヘリが

着陸する case3 では、死亡率は小さく抑えられ、多くの傷病者に対して救命機会を与えられる可能性が高いことがわかる。また、ドクターヘリが参加しないが SA, PA から救急隊が進入できると仮定した case4 では、case1 と比べ、それほど大きく死亡率が下がっていないことがわかる。これは、効果のある地点が限られているためと考えられる。

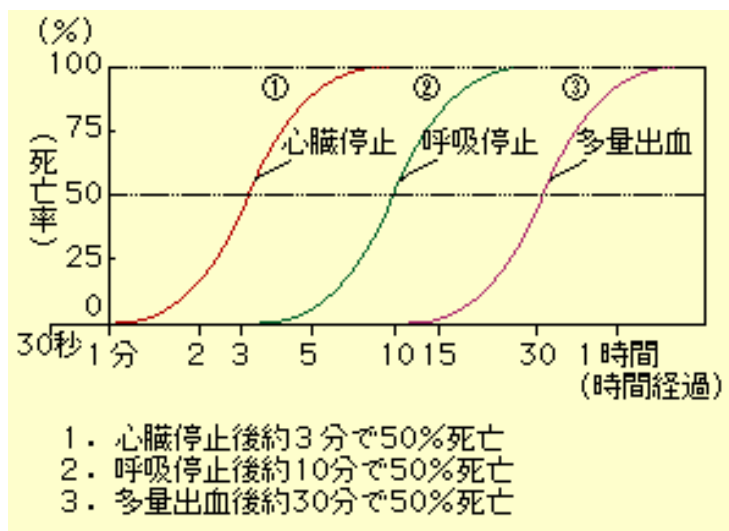


図-6 カラー救命曲線<sup>9)</sup>

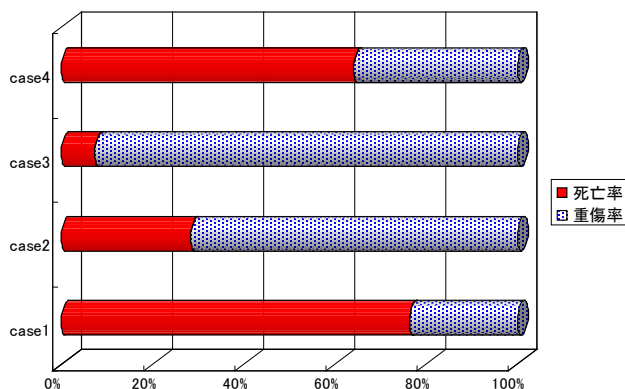


図-7 case別の死亡率

## 6. 費用対効果に関する結果と考察

### 6.1 費用対効果算出のための条件設定

#### 1) 本研究における費用対効果の考え方

本研究では、事故によって発生する経済的損失額を施策によってどの程度低減できるかを「効果」として捉え、施策の実行に必要な「費用」との関係から評価を行うこととする。具体的には、傷病者が死亡、もしくは重傷の場合の人的損失、一回あたりのドクターヘリ出動の平均費用や、着陸支援のための交通規制によって延伸する事故渋滞による経済的損失などが、費用として上げられる。これらを、現状ケースである case1 と改善案である case2~4 の費用を比較することによって、費用対効果について考察する。

## 2) 死傷者 1 人当りの損失額

事故 1 件当たりの死傷者の人身損失<sup>10)</sup>より、死亡損失額  $DI$ 、重症損失額  $SI$  を定める。

死亡損失  $DI$       33,515,000    円/人

重傷損失  $SI$       11,517,000    円/人

## 3) ドクターヘリ運航費用

研究対象地域内のドクターヘリの一機あたりの年間出動件数により、出動 1 件当たりの運航費  $Sc$  を算出した。

$$Sc = \frac{\text{年間運航費 } 2 \text{ 億円}}{\text{年間平均出動回数 } 467 \text{ 件}}$$

ドクターヘリ運航費用  $Sc$  = 428,426 円/

## 4) 事故渋滞増加による損失額

交通事故減少便益の原単位の算出方法<sup>10)</sup>に示されている事故渋滞による損失額を用いて評価する。ただし、ドクターヘリの離着陸によって、通常時より長い時間の交通遮断が必要となる場合が考えられる。そこで、通常損失  $TI$  に対して、係数  $n$  を掛けた  $TI'$  を定める。ドクターヘリ着陸による交通遮断に伴う渋滞についての具体的データはないので、ここでは事故渋滞による損失額が 2 割り増しになると考えて、 $n$  を 1.2 として計算すると以下の通りになる。

事故渋滞損失額  $TI$                       1,318,000 円

事故渋滞増加時損失額  $TI'$               1,581,600 円

## 6. 2 損失額，便益額の算出方法

以下の式により費用  $c$  及び便益額  $E$  を算出する。ここに、カーラー救命曲線から読み取られる死亡率を  $Dr$ 、重傷率を  $Sr$  とする。対象となる傷病者は 1 名とする。

$$c = Dr \times DI + Sr \times SI + Sc + TI \quad (3)$$

$$C_i = \sum c_{in} \quad (n = 262 \sim 325.4) \quad (4)$$

$$E_i = C_i - C_1 \quad (5)$$

## 6. 3 損失額，便益額の算出結果及び考察

式(3),(4)により求めた、調査対象 14 箇所の場合別損失額の合計費用  $C$  を図 - 8 に示す。これをみると、case1,4 の救急車搬送では、case2,3 のドクターヘリを用いた搬送に比べ、損失が大きい結果となった。これは、本線着陸による事故渋滞の悪化よりも、救命機会が失われることによる損失が大きいと考えられる。

図 - 8 から、式 (5) を用いて各 case の費用から case1 の費用を引いた便益額  $E_2 \sim E_4$  を図 - 9 に示す。値が大きいほど case1 と比較して改善効果が高いことを示す。これをみると、特に、 $E_2$ 、 $E_3$  の便益額が大きく、ドクターヘリの運航による効果が大きいことが分かる。

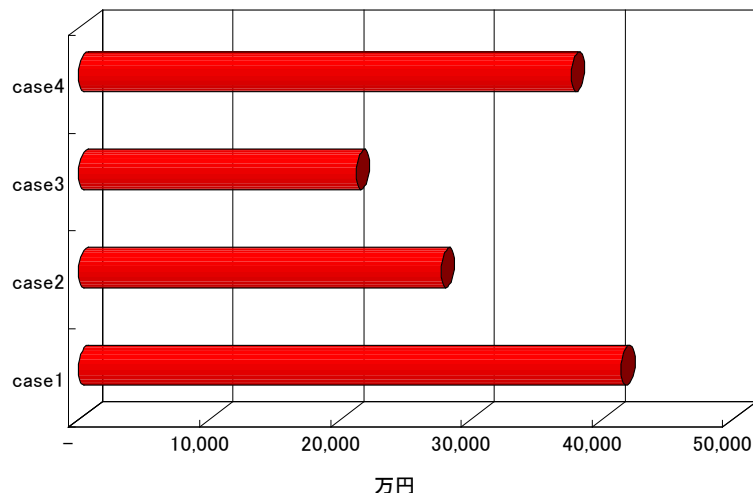


図 - 8 搬送手段別損失額

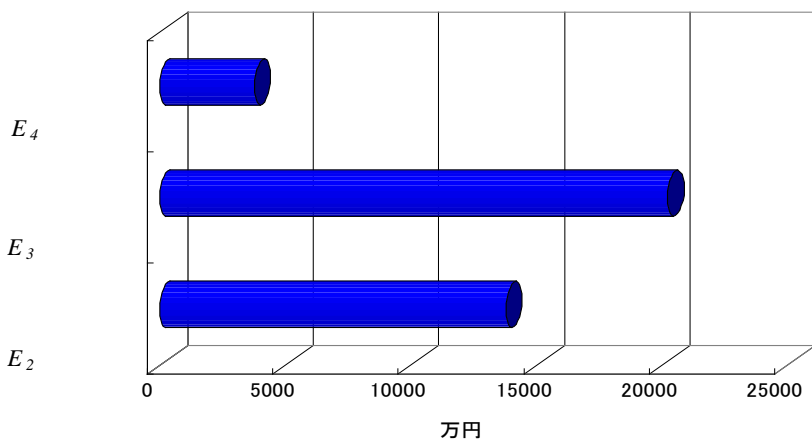


図 - 9 搬送手段別効果額

次に、初期治療開始時間と効果の関連性を明らかにするために、図 - 10～12 に調査地点毎の初期治療開始時間 (T) と便益額 (E) を示す。これをみると、ほぼ全区間において約 30 分以内に初期治療が開始される case2, 3 は大きな便益額を示し、初期治療開始時間のごく一部の地点を除いて概ね 30 分を超える区間がほとんどである case4 では、便益額も小さな値を示している。また、case2 と case3 を比較すると、262～267kp 付近にて、30 分以上かかっていた初期治療開始時間が大幅に短縮され、それに伴って便益額も大きく改善されていることがわかる。

なお、図 - 10, 11 の 312, 317 K.P では、初期治療開始時間が早いにも関わらず、便益額が小さな値を示している。これは、救急車の出動拠点と事故地点、搬送先病院の距離が近いため、救急車搬送とドクターヘリ搬送の初期治療開始時間に差がほとんどないためと考えられる。

このように、ドクターヘリの本線着陸による効果は、一律に得られるのではなく、その効果が高い区間やそれほどでもない区間をみることができる。これはカーラー救命曲線が、出血多量の場合には10～60分後を重傷か死亡かのターニングポイントであると考えており、その時間内の治療開始を達成できるか否かでドクターヘリの効果が分かれるため、と考えられる。今後の高速道路における救命率向上のためには、必要性が高い区間において遮音壁等により本線への離着陸スペースの確保が難しい場合には、緊急離着陸スペースをSAやPAに併設するなどの対応が求められる。事故渋滞増加の係数 $n$ を1.2としてシミュレーションを行ったが、場所や時間帯によって交通規制による渋滞損失は様々に変化すると考えられる。6.1で示したように渋滞損失と比較して死亡損失の値が大きいため、係数 $n$ を変化させることによって、図-8の損失額に大きな変化はみられなかった。しかし、表-1に示すとおり、事故渋滞の著しい増加を想定することにより本線着陸の効果が見られなくなるケースもあった。

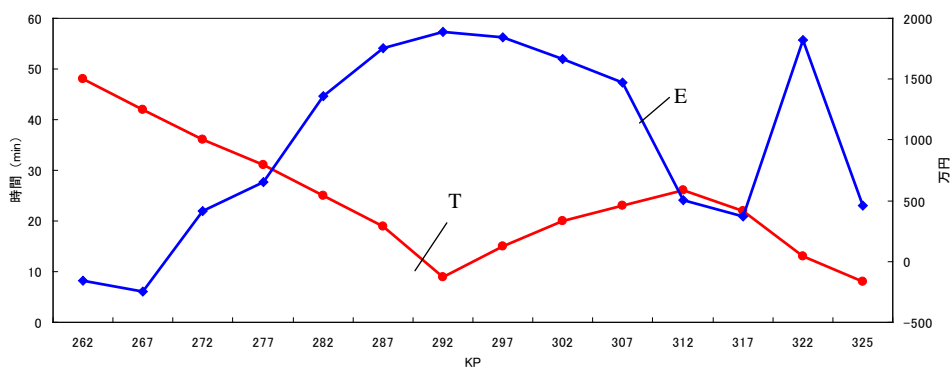


図-10 初期治療開始時間と便益

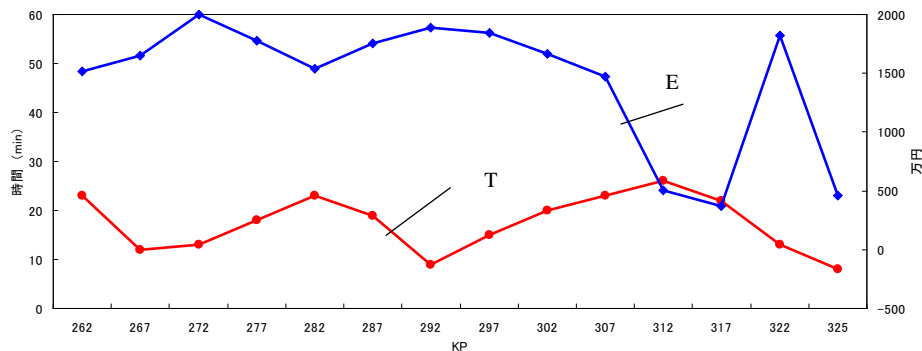


図-11 初期治療開始時間と便益額, case3

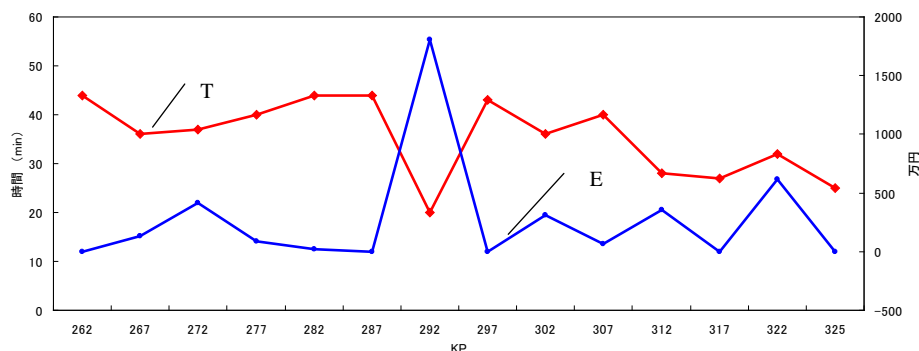


図-12 初期治療開始時間と便益額, case4

表 -1 272kp における本線着陸の Case2 の効果額 (万円)

係数 $n$	1.2	1.5	2.0	5.0
case1 を 0 とした 場合の効果額	415	375	309	-86

## 7. まとめ

本研究では、高速道路事故発生時の傷病者搬送をシミュレーションし、初期治療開始時間の短縮効果等から搬送方法の評価を行った。以下に本研究により得られたことをまとめる。

(1) ドクターヘリの現場到着時間は極めて早く、本線着陸のためには地上の機関の迅速な対応が必要である。

(2) 本線着陸を実現すれば、多くの地点において高い初期治療開始時間短縮効果が得られる。

(3) 交通規制による事故渋滞の悪化等を考慮しても、初期治療開始時間短縮による救命機会拡大から、全体として現状よりも高い経済的効果を得ることが期待できる。

ところで、ドイツでは15分以内に救急医を現場へ送り込むべきことが法律で定められており、それに基づいて救急医療専用のヘリコプターや航空機が活動している<sup>11)</sup>。図-5を見ても、たとえばドクターヘリが迅速に本線上に離着陸できるようになったとしても、15分以内に初期治療が可能となる地点は極めて限られると考えられる。我が国の高速道路において、より迅速な救急活動のための態勢づくりや施設改良等が必要であり、そのための様々な施策について検討しなくてはならない。

ドクターヘリの本線着陸の実績が極めて少ないことから、本研究では仮定的なデータや条件を設定せざるを得ない部分もあった。特に事故渋滞の増加による損失や指揮命令系統等について、さらなる検討が必要である。また、本研究内で用いたカーラー救命曲線は、ひとつの目安であり、具体的な症例を通じた医学的検討も重ねていく必要があると考えられる。

### 【参考文献】

- 1) 西川 渉：高速道路着陸問題の経緯と展望，日本航空医療学会誌，Vol. 6, No. 1, PP3-7, 2007.
- 2) 井上 保介：高速道路離着陸に関する関係各所の取り決めと離着陸ランク分け地図の作成方法，ドクターヘリ導入と運用のガイドブック，pp11-13，メディカルサイエンス社，2007.

- 3) 益子邦洋：高速道路にドクターヘリが降りられるようになるまで，救急医療ジャーナル， Vol.15, No.88, PP36-41, 2007.
- 4) 救急医療用ヘリコプターを用いた救急医療の確保に関する特別措置法，平成19年6月27日法律第103号，2007.
- 5) 武藤慎一，橋田将季，高木朗義，秋山孝正：コンジョイント分析を用いた交通安全対策としての走行支援道路システム導入の経済効果，土木計画学・研究論文集， Vol.20 No.1, PP119-126, 2003.
- 6) 益子邦洋，金丸勝洋：ドクターヘリの現状，ドクターヘリ導入と運用のガイドブック， pp24-31, メディカルサイエンス社，2007.
- 7) 益子邦洋：ドクターヘリによる逸失所得の回避効果に関する研究，ドクターヘリ導入と運用のガイドブック， pp172-177, メディカルサイエンス社，2007.
- 8) 河上省吾，松井寛，交通工学， pp111, 森北出版，1987.
- 9) 消防庁HP， <http://www.fdma.go.jp/html/hakusho/h15/html/15k12000.html>
- 10) 交通事故減少便益の原単位の算出方法，国土交通省道路局，2003.
- 11) Gerhard Kugler，山野豊(訳)：ドイツ・ヘリコプター救急の発展，ドクターヘリ導入と運用のガイドブック， pp218-221, メディカルサイエンス社，2007.

# 災害時臨時ヘリポートの特性評価に関する研究

## 1. 背景と目的

地方自治体が策定する地域防災計画において、災害時に使用される場外離着陸場（以下：災害時臨時ヘリポートと記す）に関する記述がみられる。その多くが小中学校のグラウンド等であり、緯度経度や水利の状況、広さなどが記載されていることが多い。さらに近年、災害時や救急医療サービスでの利用を想定したヘリパッドの建設が各地で行われるようになってきている。全国各地の主要道路に設置されている「道の駅」を災害拠点として整備して行くにあたり、ヘリポートをあわせて設置するアイデアもある<sup>1)</sup>。また、写真－1、写真－2のような夜間離着陸対応のヘリポートを整備する事業も行われている。



写真－1 足助消防署に設置されたヘリポート



写真－2 小原緑の公園多目的広場にあるヘリポートであることを示す看板

このように、ヘリコプターによる災害救援や救急医療サービスが社会に浸透するのにあわせ、離着陸場の整備が徐々に進んでいるが、過去の災害において多くの反省や課題が指摘されている。特に、阪神・淡路大震災における活動を通じて、以下のような事柄が指摘されている。

#### ①ヘリポート運用上の問題

大型ヘリコプターは大量の人員・物資を空輸できることから、阪神・淡路大震災時には多数の大型ヘリコプターが活用された。しかし、災害発生当初、大型ヘリコプターが離着陸可能な地点は神戸市内に2箇所しかなく、大型ヘリコプターの離着陸地点を選定する必要があった。選定の際には、離着陸候補地の広さだけでなく、周辺建築物の影響も考慮する必要があると判明したため、ヘリ操縦士が直接候補地を視認して使用可否を判断したとされる<sup>2)</sup>。さらに、ダウンウォッシュによるダストアウト等を考慮され、アスファルトや芝地、転圧土の地点が優先的に選定されたとされる。それでも、周辺の立木などの自然条件によりヘリコプターの運航に相当な支障が生じたとされる<sup>3)</sup>。したがって、災害時臨時ヘリポートを事前に選定する際には、敷地面積だけでなく、複数の利用条件を考慮する必要がある。

#### ②災害による影響に関する問題

災害発生当初は使用できていた災害時臨時ヘリポートが、復旧作業が開始されると被災者の避難や仮設住宅の建設等により使用できなくなる状況も発生した。被災地唯一の公共ヘリポートであった神戸ヘリポートも、舗装面の亀裂や液状化現象による泥水、通信施設の障害などのために災害救援活動に支障がでたとされる<sup>4)</sup>。したがって、災害時臨時ヘリポートそのものが災害に対してどのようなリスクのある場所に立地しているか、事前に把握しておくことは重要である。

#### ③アクセスの問題

阪神・淡路大震災時に使用された神戸ヘリポートは、ポートアイランドの先端部に位置するため、騒音等を考慮する必要がなく、各地からの応援部隊の基地的役割を果たした。しかし、災害発生初期段階においてポートアイランドへの交通網が寸断されたため、燃料の補給が困難となりヘリコプターの運用に制限を受けたとされる<sup>5)</sup>。医療活動に関する問題としては、傷病者搬出のために29箇所、傷病者受け入れのために58箇所の離着陸地点が使用されたが、傷病者搬出及び受け入れの双方において離着陸地点から病院までの距離が1 km以上の地点が多かったとされる<sup>6)</sup>。したがって、周辺地域の状況や関係機関とのアクセスを十分に考慮して、災害時臨時ヘリポートを計画すべきと考える。

このように、災害時臨時ヘリポートの運用においては様々な問題が発生している。地域の被害想定からヘリコプターの活動に対するニーズを考え、事前の地域防災計画に反映させることは極めて重要なことと考える。

そこで本研究では、災害時臨時ヘリポートの候補地について、その特性や役割を簡易にかつ客観的に示すための手法が求められていると考え、災害時の臨時ヘリポート候補地を調査するとともにその特性を評点化するための方法について提案する。さらに、適用事例を示して、災害時臨時ヘリポートのありかたについて論じることを目的とする。

## 2. 方法

### (1) 対象地域

愛知県南部に位置する碧南市を対象地域として取り上げる。碧南市は三河湾に面し、江戸時代からの干拓地や埋め立て地によって形成されている。そのため、地震時の軟弱地盤における液状化および洪水・高潮における浸水リスクが高い地域である。一方で山岳地が存在しないため、地滑り等のリスクは小さい。想定東海地震では市域の71%で震度5強、29%で震度6弱、想定東南海地震においても市域の74%で震度6弱、市域の26%で震度6強と想定されている。人口は約7万1千人（平成17年度国勢調査）であるが、上記のような地勢から、想定東南海地震が冬の早朝5時に発生したとして、死傷者約1100人、避難所生活者約1万5000人が発生すると想定されている<sup>7)</sup>。

ヘリコプターが果たす役割としては、情報収集はもちろんのこと、液状化や洪水・高潮などで孤立した住民の救出、避難場所への物資輸送、傷病者の搬送や医療スタッフの搬送などが挙げられる。災害時臨時ヘリポートの候補地としては、市内のN中学校およびH高校の2カ所が愛知県地域防災計画にリストアップされている。特にH高校は大型機の離着陸も可能な場所とされている。

## （2）評価方法

災害時臨時ヘリポートを評価するにあたり、どのような特性を持っているか、いくつかの評価指標を用いて把握することが、まず必要と考えられる。しかし、それぞれのヘリポートの特性が明らかになっても、災害時における限られたマンパワーによって多くの臨時ヘリポートを運営していくことは難しく、複数あるヘリポートに評価順位を付与して、設置順位や防災計画における位置づけを明確にすることが重要と考える。

そこで、まず災害時臨時ヘリポートの特性を評価する指標について論じた後に、関連樹木図法による総合評価方法について述べる。

### 1) 評価指標

災害時臨時ヘリポートの評価には、医療活動のみならず、災害時における様々なヘリコプターによる救援活動に関する指標を設定することが必要である。

前章で紹介した過去の災害事例から判明している課題を踏まえ、本研究で用いる評価指標の概念を図-1に示す。

まず、災害時臨時ヘリポートの評価にあたっては「運用性」「災害の影響度」「アクセス性」の3つが重要と考えた。「運用性」は、ヘリコプターの離着陸や地上支援が容易でヘリポートとして使いやすい場所であるかどうか、ということである。要するに航空機であるヘリコプターが離着陸する場所として、基本的な特性を備えているか、という評価項目である。「災害の影響度」は、河川敷内にあれば水害に対する耐性がないし、液状化リスクが高ければ地震時には使えない、あるいは災害時に地域の重要な避難所となっている場所であれば、ヘリポートとして運用しないほうが災害救援活動全体に資する場合も考えられる。したがって、ヘリポートとして使うことが適切な場所であるかどうか、被害想定等とつきあわせながら評価することが重要である。「アクセス性」では、医療機関からの距離、物資輸送の利便、あるいはアクセス道路の冗長性などが評価される。すなわち、輸送や搬送活動における積み替え基地、交通結節点としての評価である。

これらの考え方にに基づき、下位に6つの評価指標を設定した。この内容を表-1に示す。これらの内容を5段階で評点化するとともに、レーダーチャートで示すことにより、明らかにする。

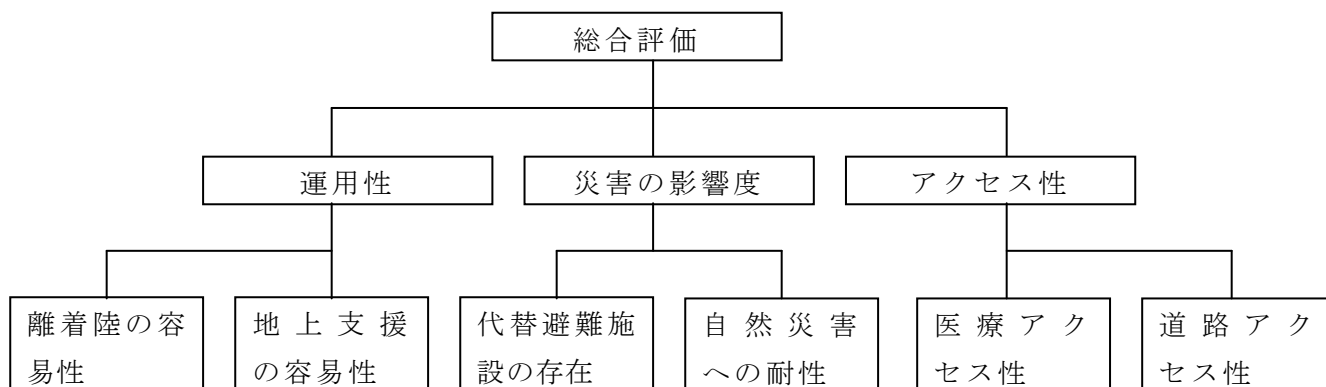


図-1 災害時臨時ヘリポート評価の概念

#### ①離着陸の容易性

当該場所が航空機であるヘリコプターが離着陸を行うのに適しているかどうかを評価する指標である。大型ヘリが離着陸出来る場所の評点を高く判定する。また、周辺に高層建築物（おおむね3F以上）が存在しないか、現地調査を行う。高得点であれば複数の大型機がいくつかの方向から進入できるが、低得点であれば小型のヘリコプターがある程度リスクを冒しつつも離着陸できるような場所、ということになる。

#### ②地上支援の容易性

ダウンウォッシュによる砂塵への対策が必要な場所や、学校等で球技用ネットなどが設置されていて移動を必要とするなど、地上支援が必要な場所については減点する一方で、既に離着陸帯のペイントがなされている場所やなんらかの照明施設があって薄暮の中での離着陸ができそうな場所を高得点とする。これにより、ヘリポートとして使用する際にかかる地上支援の手間の度合いが明らかとなる。現地調査により評価する。

#### ③代替避難施設の存在

災害時臨時ヘリポートに指定されている多くの場所は、小中学校のグラウンドなど、災害時には近隣住民の避難所等になっていることが非常に多い。近辺（おおむね半径500m以内）に代替となる避難場所等があって、当該場所をヘリポートとして空けることが容易かどうかを評価する。

#### ④自然災害への耐性

地震発生時において液状化の発生が懸念される場所や、洪水時には冠水する可能性の高い場所は、災害時臨時ヘリポートとして使用できない可能性がある。碧南市作成のハザードマップから、想定される災害に対するリスクの大きさを評点化する。

#### ⑤道路アクセス性

緊急輸送道路との関連から、ヘリポートの道路アクセス性を評価する。直近にある場合や複数存在する場合を高得点とし、距離がある場合は低得点とする。

## ⑥医療アクセス性

災害拠点病院や病床数が大きい基幹的な病院が近辺に存在するか、評点化する。直近に災害拠点病院などが存在すれば高得点となり、おおむね半径500m以内に医療機関が存在しなければ0点となる。

### 2) 関連樹木法

関連樹木法とは、不確実かつ複雑な状況に置ける意思決定を支援する方法の一つであり、1960年代に開発された手法である。いくつかの視点や考え方から評価される人間の主観を定量化して代替案の順位や重み付けに反映させる。人間の経験的な主観を尊重しつつも、高い再現性が得られることから、客観的な評価が期待できるとされる<sup>8)</sup>。

この関連樹木法を用いて、6つある評価指標の重み付けを行い、災害時臨時ヘリポートの評価順位付与に用いることを考える。以下に、本研究における手順を示す。

手順① 評価項目および関連樹木は図-1を使用する。すなわち、災害時臨時ヘリポートの評価において、レベル1として「運用性」「災害の影響度」「アクセス性」を設定し、その下位にレベル2として6つの評価指標が関連することとなる。

手順② 評価基準に対する重み付けを行うが、ここで、評価を行う視点を設定する必要がある。本研究では、以下のC1～C3までの3項目を設定した。

C1: 運用重視

搬送できる人数や輸送量、輸送力、といった災害時におけるヘリコプターの運用面からの使いやすさを重視する視点

C2: 医療重視

医療現場へのスタッフの行きやすさ、患者の搬送等、医療の立場からの使いやすさを重視する視点

C3: 管理重視

管理コスト・手間や利用継続性など、災害時において、当該場所を管理をする立場からの使いやすさを重視する視点

この評価基準 $\chi$  ( $\chi = C1 \sim C3$ ) に対して重み係数 $q_\chi$ を割り付ける。但し数値はすべて正で、合計が1となるようにする。

手順③ レベル1における3つの評価指標に対する重み係数 $r_i^\chi$ を、評価基準 $\chi$ に照らしあわせながら付与する。但し数値はすべて正で、合計が1となるようにする。

手順④ 式(1)に示すように、評価指標に対する重みを評価基準に対する重みに乗じ、これをすべての評価基準に対して合計する。これは関連数と呼ばれる。

$$H_j^i = \sum_{\kappa=c1}^{C3} r_i^\kappa q_\kappa \cdots (1)$$

手順⑤式(2)に示すように、各レベル*j*における関連数をすべて乗じたものを総合関連数*R<sub>j</sub>*という。これにより、下位レベルにおける評価指標に対する評価順位が明らかとなる。

$$R_i = \prod_{j=1}^2 H_j^i \cdots (2)$$

手順⑥式(3)に示すように、総合関連数に5段階で評価された評価指標の評点*p<sub>i</sub>*を乗じて合計することで、それぞれの災害時臨時ヘリポートに対する順位が明らかとなる。本研究ではこれを順位指標*G*とよぶ。

$$G = \sum_{i=n1}^{n6} R_i p_i \cdots (3)$$

以上のような手順で関連樹木法による評価を進めるが、途中で行われる重み係数等の付与は、採点者の主観によって行われるため、採点者のプロフィールを明らかにするとともに、それぞれの結果を比較する必要がある。今回は以下の3名で行っている。

採点者 A：プロフィール

大学教員。土木工学の分野よりヘリコプターの関わる防災計画や都市計画の研究に従事。

採点者 B：プロフィール

独立行政法人の研究員として大規模災害発生時の航空機運航支援システムに関わる研究に従事。

採点者 C：プロフィール

ヘリコプターメーカーにて、ヘリコプターの運航管理に関わるシステム研究に従事。

### 3. 結果

図-2、図-3に、2カ所の災害時臨時ヘリポートに対する6項目の評価結果を示す。どちらのヘリポートも「運用性」に関わる2項目および「代替避難施設の存在」について比較的評点が高くなっている。これは、対象が防災ヘリコプターの離着陸場所としてリストアップされるような場所であり、離着陸条件や周辺施設についても考慮されている結果であると考えられる。

「自然災害への耐性」については、対象がいずれも小高い場所に立地しているほか、液状化リスクの高い場所に位置していないため、高い評点となった。

「道路アクセス性」については、N中学校において低い評点となった。これは近くに一本、

緊急輸送道路が設定されているのみであるためである。一方でH高校は緊急輸送道路に面しているほか、近辺で複数の緊急輸送道路が交差している場所に立地している。したがって市内の多方面へのアクセスが容易であり、防災拠点として優れた立地であるといえる。

「医療アクセス性」をみると、どちらの災害時臨時ヘリポートにおいても、医療アクセスの評点が高くないことがわかる。これは碧南市における最大床の医療機関である碧南市民病院が市の郊外に位置し、評価対象となったヘリポートから離れていること、災害拠点病院が市域にないことが原因であると考えられる。

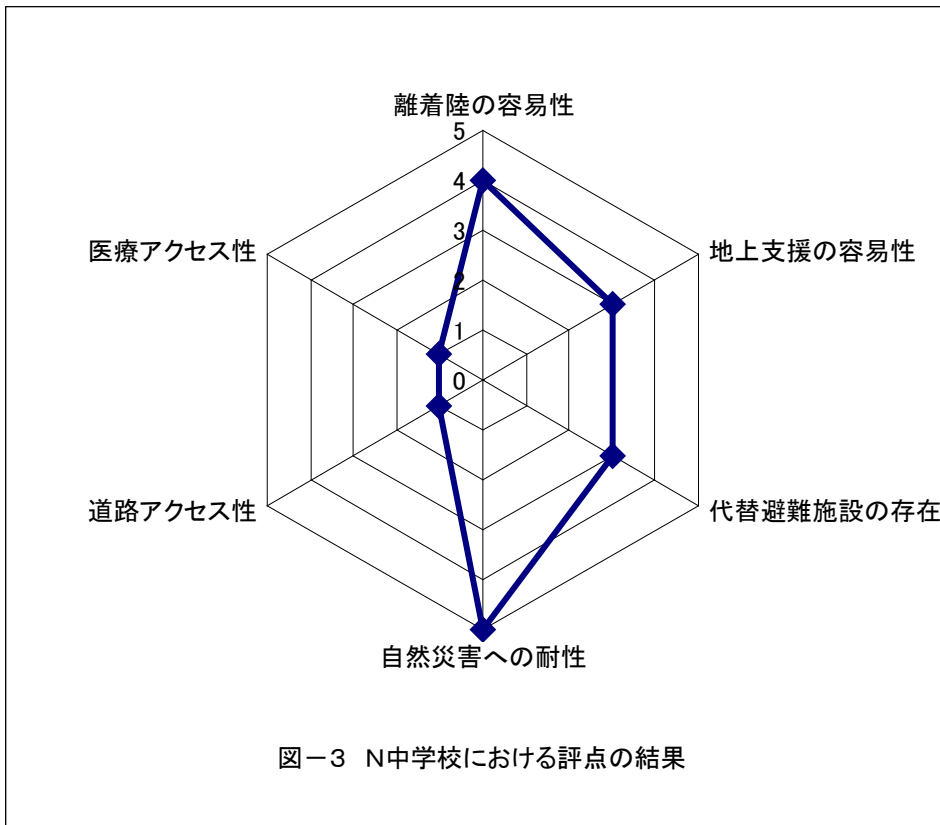
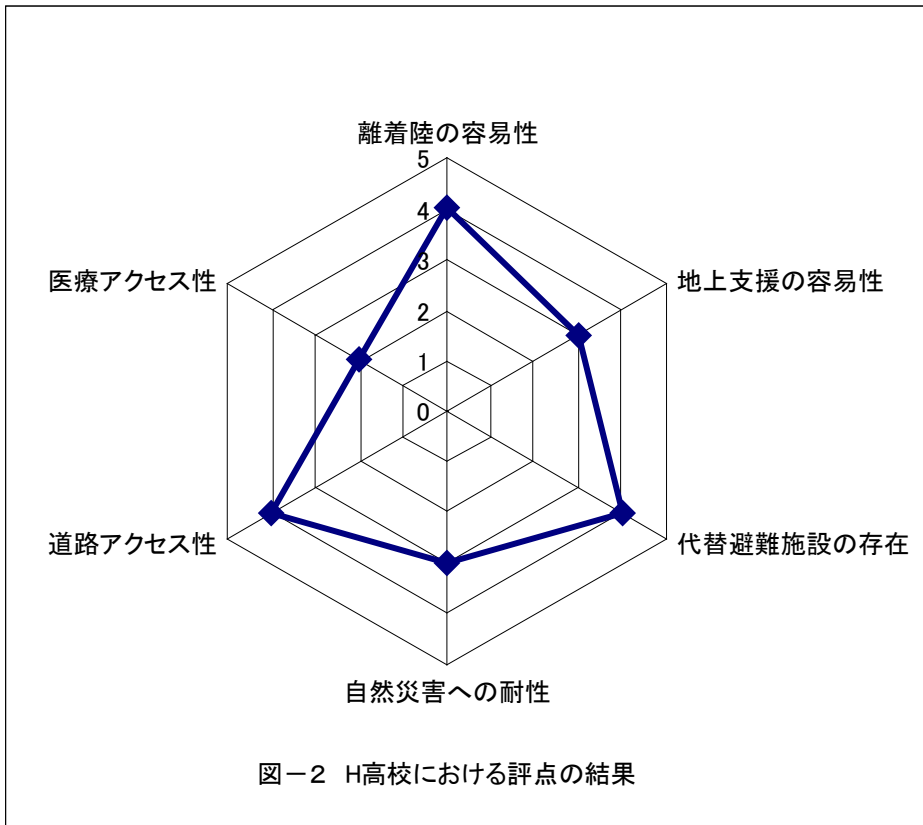
次に、関連樹木法による結果について、採点者Aによる重み付与を表-2および表-3に示す。レベル1について重み付けをおこなった表-2の関連数 $H_i^1$ を見ると、運用性とアクセス性を重視した考えであることがわかる。レベル2について重み付けをおこなった表-3の $H_i^2$ をみると、「離着陸の容易性」と「地上支援の容易性」についてはほぼ同等に、「代替避難施設の存在」と「自然災害への耐性」では前者を、「道路アクセス性」と「医療アクセス性」では後者を、それぞれ重視していることがわかる。総合関連数 $R_i$ をみると、採点者Aにとっては、もっとも重視するのが「道路アクセス性」であり、「自然災害への耐性」はあまり重視されないことがわかる。なお、総合関連数 $R_i$ は、合計で1.00となるように6項目に対して付与される。したがって、0.16(=1.00/6)より大きい項目については重視され、それ以下は比較的重視されない項目であると解釈できる。

採点者3名による重み付けを行った結果を図-4にまとめる。採点者Aは「道路アクセス性」を重視、採点者Bは「医療アクセス性」を重視、採点者Cは「代替避難施設の存在」を強く重視した考え方であるといえる。

2カ所の災害時臨時ヘリポートの評点と乗じて求めた順位指標 $G$ を表-4にまとめる。表中の単純平均とは、重み付けを行わず、単純に5段階評点の点数を平均したものである。これをみると、順位指標 $G$ 、単純平均ともにH高校の評価が高いことがわかる。採点者によって数値に違いがみられるが、これは、それぞれの考え方による各評価指標の重みが異なるためである。すなわち、H高校において採点者Cの評点が特に高いのは、採点者Cが重視した「代替避難施設の存在」のポイントが高いからと考えられる。また、N中学校は、単純平均された結果よりも、採点者3名による評点のほうが低くなっている。これは採点者3名が共通して重視した「道路アクセス性」に関する評点が低いことや、逆にN中学校において評点が高い「自然災害への耐性」を、採点者3名があまり重視していない結果だと考えられる。

表－1 各評価項目の評点

離着陸の容易性	
大型のヘリが離着陸できる	+ 5
中型のヘリが離着陸できる	+ 4
小型のヘリが離着陸できる	+ 3
周囲に高い建築物がある場合	- 1
周囲に高い建築物が建ち並ぶ場合	- 2
地上支援の容易性	
着陸帯のマーキングがあり、コンクリート等で造られている	+ 4
着陸場所が芝の場合	+ 3
着陸場所が芝と土の複合の場合	+ 2
着陸場所が土であり、散水が必ず必要な場合	+ 1
照明装置があり、薄暮時の離着陸等で活用できる	+ 1
運動用具（サッカー用ゴールネット等）がない	+ 1
代替避難施設の存在	
公園・グラウンドがある	+ 1
大きな駐車場	+ 1
コミュニティーセンター（集会施設）	+ 1
大規模施設（文化ホール、市民体育館）	+ 1
ヘリポート候補でない小中高校等	+ 1
自然災害への耐性	
基本点	+ 5
標高 0 m 未満	- 2
標高 0 m 以上 2.5 m 未満	- 1
液状化の危険度が極めて高い	- 3
液状化の危険度が高い	- 2
液状化の危険度がやや高い	- 1
道路アクセス性	
緊急輸送道路に面している	+ 2
緊急輸送道路に 500 m 以内で到達できる	+ 1
複数の緊急輸送道路に 500 m 以内に到達できる	+ 2
高速道路のインターチェンジが 3 km 以内にある。	+ 1
医療アクセス性	
直近に医療機関が存在する	+ 3
半径 500 m 以内に医療機関が存在する	+ 1
対象となる医療機関が救急指定病院である	+ 1
対象となる医療機関が災害拠点病院である	+ 2



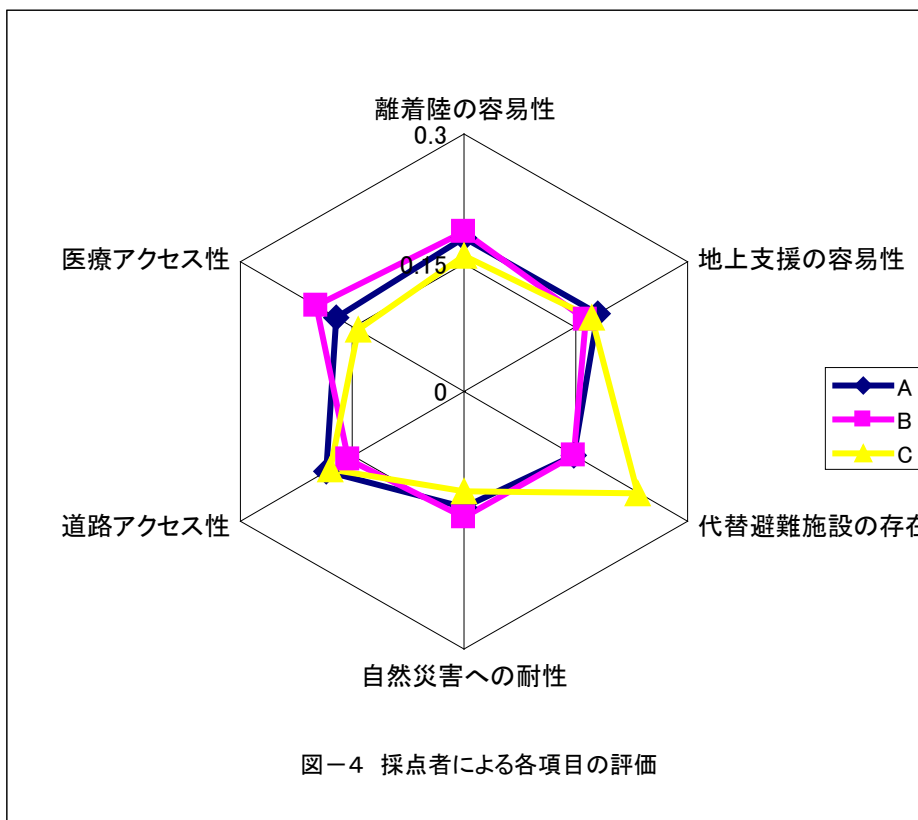


表-2 レベル1における重み付け (採点者A)

評価基準	重み	運用性	災害の影響度	アクセス性
運用重視	0.2	0.4	0.4	0.2
医療重視	0.4	0.2	0.2	0.6
管理重視	0.4	0.5	0.3	0.2
$H_i^1$		0.36	0.28	0.36

表-3 レベル2における重み付け (採点者A)

評価基準	重み	離着陸の容易性	地上支援の容易性	代替避難施設の存在	自然災害への耐性	道路アクセス性	医療アクセス性
運用重視	0.20	0.30	0.70	0.40	0.60	0.60	0.40
医療重視	0.40	0.50	0.50	0.50	0.50	0.40	0.60
管理重視	0.40	0.60	0.40	0.60	0.40	0.60	0.40
$H_i^2$		0.50	0.50	0.52	0.48	0.52	0.48
$R_i$		0.18	0.18	0.15	0.13	0.19	0.17

表－4 採点者3名の順位指標Gおよび単純平均

	H 高校	N 中学校
採点者 A	3.34	2.73
採点者 B	3.29	2.77
採点者 C	3.43	2.75
単純平均	3.33	2.83

#### 4. 考察

本研究の評価結果を用いて、碧南市における2カ所の災害時臨時ヘリポートの地域防災計画における位置づけを考えれば、以下のように整理することができる。

①H高校については、各評点の平均値や採点者3名による評点も高く、大型機の離着陸が可能である点、緊急輸送道路とのアクセスが良い点と相まって、物資輸送等、救難活動の拠点として期待できるが、周辺医療機関とのアクセスが問題である。

②N中学校については、各評点の平均点や採点者3名による評点はH高校に比べて低いが、災害への耐性が比較的良いことから、H高校での活動を支援もしくはH高校が何らかの理由で使えない場合の代替として位置づけられるのが望ましい。

③碧南市民病院が市の郊外に位置していることもあり、医療アクセス性の評点が2カ所とも高くない。そこで碧南市民病院を拠点として傷病者搬送活動を行うための災害時臨時ヘリポートを設置するか、もしくは災害時においてH高校とのアクセスを最優先で確保することが望まれる。

このように災害時臨時ヘリポートを、いくつかの指標を用いて具体的に評価することによって、対象地域における当該ヘリポートの役割を明確にすることができるとともに、地域防災計画全体の中での課題についても考察することが可能となる。ヘリポートのリストアップにとどまらない計画策定によって、ヘリコプターのより有効な活動が期待できる。

今後の課題としては、過去の事例に基づき本研究の指標で災害時臨時ヘリポートの評価を積み重ねていけば、評価法として検証できるものとする。阪神・淡路大震災以外の災害、たとえば、2004年に発生した新潟・福島豪雨や2006年3月に発生した福岡県西方沖地震においてもヘリの活動拠点となるヘリポートの設定にさまざまな課題があったことが全国航空消防防災協議会の調査で判明しており<sup>9)</sup>、活動の記録と分析事例を蓄積することが求められる。ただし、想定される災害の種類や状況が地域によって異なること、関連樹木法は採点者の主観が入るので、さまざまな関係者からの評価が不可欠であること、などに留意し、想定災害や地域に合わせた評価指標を組み入れて評価していくことが必要である。

#### 5. まとめ

災害時臨時ヘリポートの特性を評点化して示すことにより、改善すべき点や方法について提案することができた。また、関連樹木法によって、採点者によって異なる主観を数値化し比較することで、そのヘリポートの評価順位について議論することが可能であることが示された。今後、地域防災計画において、災害時臨時ヘリポートが適切に設置、運用されるよう、位置づ

けるための指標として、本研究で提案した方法を活用いただければ幸いである。

【参考文献】

- 1) 国土交通省中部地方有識者懇談会：国土の健康回復を実現する中部のモノづくり、2005.9、  
p. 36
- 2) 陸上自衛隊中部方面総監部：阪神・淡路大震災災害派遣行動史、1995.6
- 3) 全日本航空事業連合会：阪神・淡路大震災時におけるヘリコプターの活動状況調査報告書、  
1996.10
- 4) 上掲 2)
- 5) 上掲 3)
- 6) 阪神・淡路大震災におけるヘリコプター運用の実態調査委員会：阪神・淡路大震災におけるヘリコプターを用いた傷病者の搬送　－その実態と評価－、1996
- 7) 愛知県防災会議：愛知県東海地震・東南海地震棟被害予測調査報告書、2003.
- 8) 寺野寿郎：システム工学入門－あいまい問題への挑戦－、共立出版、東京、1985、pp. 196-207.
- 9) 全国航空消防防災協議会：広域応援時の受援のあり方についての調査研究専門委員会報告書、2006.3

# 社会的指標によるドクターヘリコプターシステム普及のため の要因分析

## 1. 研究の概要

わが国においても救急医療ヘリコプター、いわゆるドクターヘリコプター（以下、ドクターヘリ）システムの普及が始まっている。平成 19 年 6 月 19 日に成立した「救急医療用ヘリコプターを用いた救急医療の確保に関する特別措置法」における救急医療用ヘリコプターの定義としては、「救急医療に必要な機器を装備し、及び医薬品を搭載していること」や、「救急医療に係る高度の医療を提供している病院の施設として、その敷地内その他の当該病院の医師が直ちに搭乗することのできる場所に配備されていること」とされている。<sup>1)</sup> 多くの出動実績から高い救命効果を得られることが徐々に明らかになっている。また、諸外国でもヘリコプター救急の有効性が明らかになっている。<sup>2)</sup>

ところが我が国における普及ペースは非常に遅い。実際に導入した都道府県とそれ以外の県の社会的背景にどのような差異がみられるのかを論じることは、普及に向けた議論を行う際に重要であると考えられる。本研究は、ドクターヘリシステムが普及している道県の傾向を、社会的指標の多変量解析により明らかにし、ドクターヘリシステムという新しい社会基盤が普及していくための社会的条件について考察することを目的とする。

本研究では、まずドクターヘリ普及の現状、配置に関する明確な基準がないことを述べる。次に、分析に用いる社会的指標について検討する。その指標を用いて、ロジスティック回帰分析と主成分分析を行ない、ドクターヘリシステムの普及に関する考察を行うこととする。

## 2. ドクターヘリシステム普及の現状と問題点

### 2.1 普及の現状

ドクターヘリは、我が国で平成 13 年から運用されており、平成 19 年 12 月時点で 12 ヶ所に配備されている。旧厚生省が平成 13 年に「5 年で 30 機」の目標を立てていたが、この目標には遠く及ばなかった。我が国のドクターヘリ普及ペースは、1.6 ヶ所/年である。現在の普及ペースでいけば、30 ヶ所になるのは 2017 年になる。<sup>3)</sup> 一方、ドイツでは 1970 年～2003 年の間に 2.0 ヶ所/年で普及しており、日本は明らかに遅い普及ペースとなっている。

### 2.2 普及に向けた課題

普及の課題は、運用費が最大のネックといわれてきた。<sup>4)</sup> ドクターヘリの年間運用費は、1 機当たり約 2 億円程度であり、国と都道府県の折半によって負担されてい

る。一般に、ドクターヘリの配備は、都道府県の財政規模が小さいほど困難だとみられている。しかし、救急車の年間運用経費は1台当たり約8,000万円であり<sup>1)</sup>、その効果を考えれば、ドクターヘリの運用費はそれほど高くないとも考えられる。

そこで本研究では、ドクターヘリシステムの普及しない理由が、財政やその他の社会的要因に関しての明確な指標がないことにあると考え、ドクターヘリが配備されている道県にどのような傾向があるかを、多変量解析によって分析する。

### 3. 本研究の分析手法

#### 3.1 用いる手法について

本研究では、ロジスティック回帰分析と主成分分析を用いて分析を行う。ロジスティック回帰分析では、ドクターヘリの普及に何がどの程度の影響を及ぼしているかを明らかにし、ドクターヘリの運用に向けた考察を行う。主成分分析では、各都道府県の特性を確認し、ドクターヘリの運用に向けた考察を行う。

#### 3.2 ロジスティック回帰分析とは

ロジスティック回帰分析は、複数の要因をもとにある事象の発生確率を予測する分析手段である。この方法は、医療分野において「因子の組み合わせとその程度が異なり、また同程度の因子を有していても、発症する人もいれば発症しない人もいる確率的な現象」の分析などで用いられている。<sup>5)</sup>

ロジスティック回帰分析の回帰式は式(1)のようになり、目的変数  $y$  は  $0 \leq y \leq 1$  の範囲の確率値をとる。

$$y = \frac{1}{1 + e^{-(a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_px_p + b)}} \quad (1)$$

$x$  : 説明変数,  $y$  : 目的変数,  $a$  : 回帰係数,  $b$  : 定数項

本研究では、ドクターヘリの普及に関連すると考えられる指標を説明変数として、目的変数である評価値を算出する。この評価値が高いほど、ドクターヘリ配備の社会的条件が揃っているとみることとする。

#### 3.3 主成分分析とは

主成分分析は、ある問題に対していくつかの要因が考えられるとき、それらの要因を一つ一つ独立に扱うのではなく総合的に取り扱い、背後にある構造を確認する分析手段である。分析により、固有ベクトルと主成分得点が算出できる。主成分得点により、サンプルの特徴付けや分類ができる。固有ベクトルは、主成分得点を求める際の各要因の重要度である。

本研究では、主成分得点の散布図から、類似している都道府県やその要因について明らかにする。

### 3.4 分析に用いる指標

本研究で扱うドクターヘリの拠点は、2007年12月までに運用されている12拠点とする。ロジスティック回帰分析の目的変数には、ドクターヘリの運用状況の値を、運用されている場合を「1」、運用されていない場合を「0」、として分析する。

本研究では、11項目の統計データを用いる。この統計データは、「救急活動に関する統計」、「医療の体制に関する統計」、「医療以外の統計」の三つに大きく分けられる。( )内はデータの出典である。

#### ①救急活動に関する統計

- ・ 年間救急出場件数（消防庁）
- ・ 交通事故発生件数（警察庁）

救急活動の必要性を示したものである。ドクターヘリが対応した交通事故負傷者数は、平成18年度に960人であり、ドクターヘリの全診療人数の20%以上である。<sup>4)</sup>

#### ②医療の体制に関する統計

- ・ 救命救急センター数

ドクターヘリが救命救急センターを拠点としていること、ドクターヘリは救命処置の必要な重傷の患者等を対象としていることから、救命救急センター数を取り上げる。

- ・ 無医地区数（厚生労働省）
- ・ 無医地区人口（厚生労働省）

ドクターヘリ出動の多い地域が、いわゆる医療過疎地域と考え、設定した。たとえば愛知県では、中山間地である県東部地域（新城市や豊田市）などへ多く出動している。<sup>4)</sup>

#### ③医療以外の統計

- ・ 人口（統計局）
- ・ 面積（国土地理院）
- ・ 人口密度
- ・ 政令指定都市数
- ・ 政令指定都市ダミー+特別区ダミー

各都道府県の基礎的データとして取り上げる。「政令指定都市+特別区のダミー」とは政令指定都市が存在するかないかを「1」、「0」のダミー変数として取り上げる。

- ・ 財政力指数（総務省統計局）

総務省が発表している地方公共団体の財政力を示す指標である。ドクターヘリ運用費用負担との関連を明らかにするために用いる。

## 4. モデル作成とドクターヘリ普及の分析

### 4.1 分析の流れ

ロジスティック回帰分析の流れを図-1に示す。

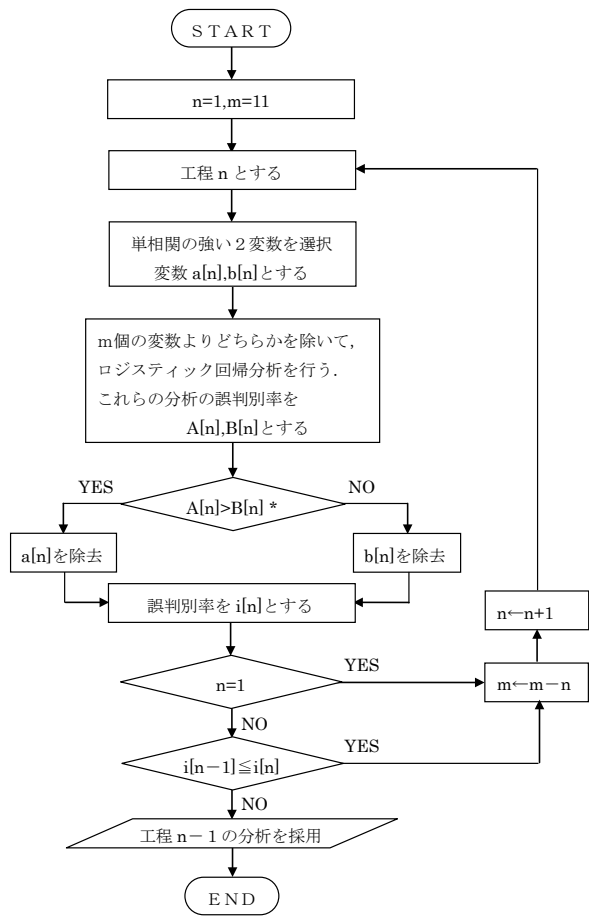


図-1 分析の流れ

まず、すべての説明変数を選択し、分析を行う。この結果、回帰式、回帰係数、目的変数を算出できる。ここで、目的変数の誤判別率を確認する。誤判別率の確認は、確率値である目的変数が「0.5 以上を導入されている」、「0.5 未満を導入されていない」とし、実際の配置と適合するかをみる。これを繰り返し計算して、より誤判別率の小さな説明変数の組み合わせを求め、そのときの回帰式と回帰係数、目的変数について考察する。なお、誤判別率の算出方法は、式(2)に示すとおりである。

$$P = \frac{n}{N} \quad (2)$$

$P$  : 誤判別率,  $N$  : 全個体の数,  $n$  : 誤判別数

## 4.2 分析結果と考察

### (1) 分析結果

回帰式と回帰係数を、式(3)、表-1に示す。また、評価値(目的変数)を表-2に示す。説明変数は、「面積」、「人口密度」、「政令指定都市数」、「財政力指数」

の 4 つが選択された。このモデルの誤判別率は、11%となった。この結果においては、ドクターヘリを運用していない都府県の評価値を、運用していると誤判別することは無かった。

$$y = \frac{1}{1 + e^{-(0.01x_1 - 0.06x_2 + 1.23x_3 + 6.07x_4 - 4.43)}} \quad (3)$$

## (2) 回帰係数についての考察

回帰係数の値が最も大きくなったのは、「財政力指数」である。「財政力指数」は、多くのドクターヘリ運用中の道県で値が大きいため、係数が大きくなったと考えられる。

係数の正負（表－1）をみると、「面積」が広いほど、「人口密度」が低いほどドクターヘリの導入されているのが現状であると解釈できる。また、「政令指定都市数」があるほど、「財政力指数」も高いほど、運用される可能性が高いと考えられる。

また、3.4で行った統計の分類のうち、「救急活動に関する統計」と「医療の体制に関する統計」から変数が選択されなかった。しかし、「人口密度」は「年間救急出場件数」との単相関が 0.94 と大きく、「財政力指数」は「救命救急センター数」との単相関が 0.86 と大きい。このことから、救急や医療に関する情報は、分析で求めた 4 つの変数に集約されていると考えることができる。

## (3) 評価値についての考察

ロジスティック回帰式による評価値（表－2）をみると、ドクターヘリ運用中の道県で評価値が 0.5 を超える結果となるのは、北海道、静岡県、愛知県、福岡県、神奈川県、千葉県であり、これらは誤判別されずに評価されたといえる。この 6 道県は、いずれも政令指定都市がある。埼玉県は、政令指定都市があるにもかかわらず評価値が 0.5 に届かない。埼玉県の「政令指定都市数」や「財政力指数」は、上記の 6 道県と比較して大きく異なっていないが、マイナスの回帰係数となる「人口密度」が大きい値であるため、0.5 にならなかったと考えられる。宮城県、広島県、兵庫県は、評価値は 0.5 に届かないが、運用中の埼玉県よりも評価値は高く、ドクターヘリ導入のための条件は比較的整っていると言える。

ドクターヘリ運用中であるにも関わらず、評価値が 0.5 を大きく下回る結果となるのは、長野県、岡山県、和歌山県、長崎県であった。この 4 県は、4 つの統計のうち突出した値がないため、評価値が低くなったと考えられる。このうち、岡山県はドクターヘリを全国に先駆けて導入しているため、後の拠点配置の傾向とは異なるとも考えられる。また、長崎県は離島への出動が多いことが他の拠点とは違う傾向があると考えられる。

表－1 回帰係数

説明変数	回帰係数
面積 $x_1$	0.01
人口密度 $x_2$	-0.06
政令指定都市数 $x_3$	1.23
財政力指数 $x_4$	6.07

表－2 評価値

都道府県	評価値	都道府県	評価値	都道府県	評価値
北海道	0.96	岐阜県	0.19	奈良県	0.08
静岡県	0.87	長野県	0.19	青森県	0.08
愛知県	0.82	福島県	0.18	鹿児島県	0.08
福岡県	0.69	三重県	0.18	山形県	0.08
神奈川県	0.68	東京都	0.17	富山県	0.07
千葉県	0.53	滋賀県	0.14	徳島県	0.07
宮城県	0.45	岡山県	0.14	大分県	0.07
広島県	0.45	石川県	0.11	宮崎県	0.06
兵庫県	0.42	岩手県	0.11	和歌山県	0.06
埼玉県	0.41	山口県	0.10	佐賀県	0.06
京都府	0.40	愛媛県	0.09	高知県	0.05
大阪府	0.36	福井県	0.09	島根県	0.05
新潟県	0.36	熊本県	0.08	鳥取県	0.05
茨城県	0.23	山梨県	0.08	長崎県	0.05
栃木県	0.21	香川県	0.08	沖縄県	0.04
群馬県	0.20	秋田県	0.08		

\* 網掛け：ドクターヘリ運用中の道県

#### 4.3 合同運用を想定した分析結果と普及

ドクターヘリの合同運用の可能性について考察する。合同運用は、いくつかの県で検討されていると報じられているが、ここでは滋賀県・京都府の合同運用に着目した分析を行った。この結果を、式(4)、表－3、表－4に示す。誤判別率は、11%であった。

分析の結果、滋賀県・京都府の評価値は、4.2の結果と比較して上がると確認できた。この組み合わせは、政令指定都市の京都府を含むため、滋賀県の評価値が大きく改善され、効果がある組み合わせだと言える。

$$y = \frac{1}{1 + e^{-(0.00x_1 - 0.07x_2 + 1.19x_3 + 6.28 - 4.41)}} \quad (4)$$

表－3 滋賀県と京都府を合わせて分析したときの係数

説明変数	回帰係数
面積 $x_1$	0.00
人口密度 $x_2$	-0.07
政令指定都市数 $x_3$	1.19
財政力指数 $x_4$	6.28

表－4 滋賀県と京都府を合わせて分析したときの評価値

都道府県	評価値	都道府県	評価値	都道府県	評価値
北海道	0.93	岐阜県	0.20	富山県	0.08
静岡県	0.88	三重県	0.19	青森県	0.08
愛知県	0.83	長野県	0.19	山形県	0.08
福岡県	0.69	福島県	0.18	鹿児島県	0.08
神奈川県	0.68	東京都	0.17	徳島県	0.08
千葉県	0.54	岡山県	0.15	大分県	0.07
宮城県	0.45	石川県	0.12	宮崎県	0.07
広島県	0.45	山口県	0.11	和歌山県	0.06
滋賀京都	0.42	岩手県	0.10	佐賀県	0.06
埼玉県	0.42	福井県	0.09	高知県	0.05
兵庫県	0.42	愛媛県	0.09	島根県	0.05
新潟県	0.35	熊本県	0.09	鳥取県	0.05
大阪府	0.34	山梨県	0.09	長崎県	0.05
茨城県	0.24	香川県	0.09	沖縄県	0.04
栃木県	0.22	奈良県	0.08		
群馬県	0.22	秋田県	0.08		

## 5. 都道府県の特性比較とドクターヘリ普及の関係

### 5.1 分析の流れ

主成分分析には、3.4 でとりあげた統計データを変数として用いる。さらに、単位が異なるデータを同じ尺度で表すために変数を基準化する。基準化は、平均 0、標準偏差 1 となるようにデータ変換を行う。固有ベクトルと主成分得点が算出して散布図に示し、都道府県の特性について考察する。

### 5.2 分析結果と考察

第二主成分までの累積寄与率は、85%となった。

図－2、図－3 は、横軸が第一主成分、縦軸が第二主成分を表す。図－3 の主成分得点は、図－2 で各軸の正の方向に位置するデータの値が大きいほど、高くなる。

図－2 の固有ベクトルより、図－3 の第一主成分に影響を及ぼしている変数は、「人口」、「交通事故発生件数」、「年間救急出場係数」とみることができる。これより、第一主成分は都市的な条件を示していると考えられる。第二主成分に影響を及ぼし

ている変数は、「面積」、「無医地区数」とみることができる。第二主成分は、医療に関する地理的条件を示していると考えられる。

主成分得点の散布図（図-3）より、ドクターヘリを運用している拠点をグループ化する。まず、神奈川県、愛知県、埼玉県、千葉県、福岡県、静岡県で一つのグループ(A)とみることができる。すなわち、人口が多く、交通事故や救急の出動件数も高い、都市的な条件を備えたグループである。また、北海道で一つのグループ(B)とみることができる。すなわち、医療に関する地理的条件が特徴的なグループである。さらに、長野県、岡山県、長崎県、和歌山県で一つのグループ(C)とみることができる。すなわち、都市的な条件や医療に関する地理的条件のどちらにも当てはまらないグループである。

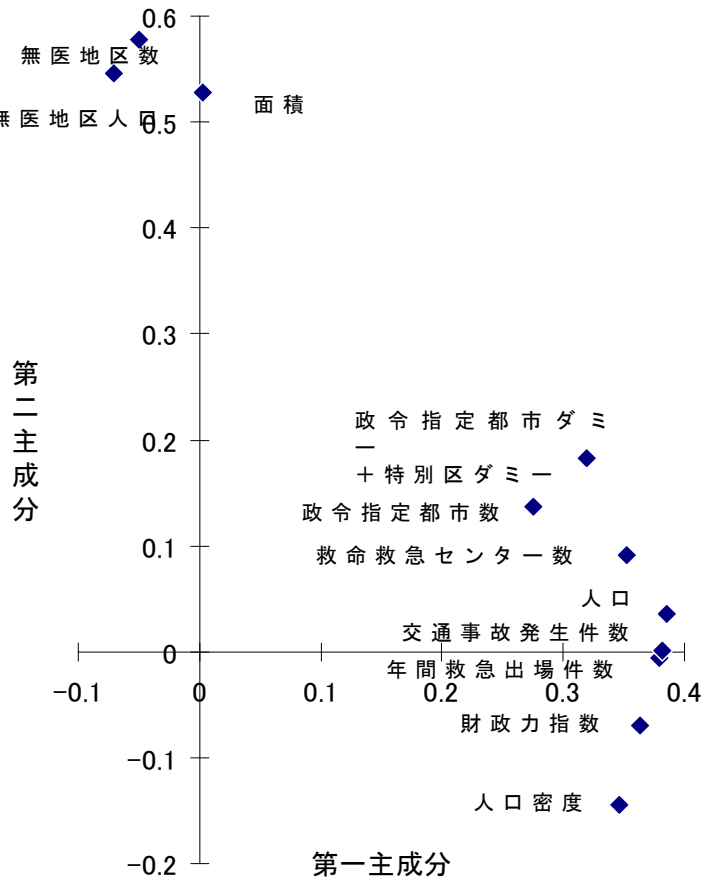


図 - 2 固有ベクトル

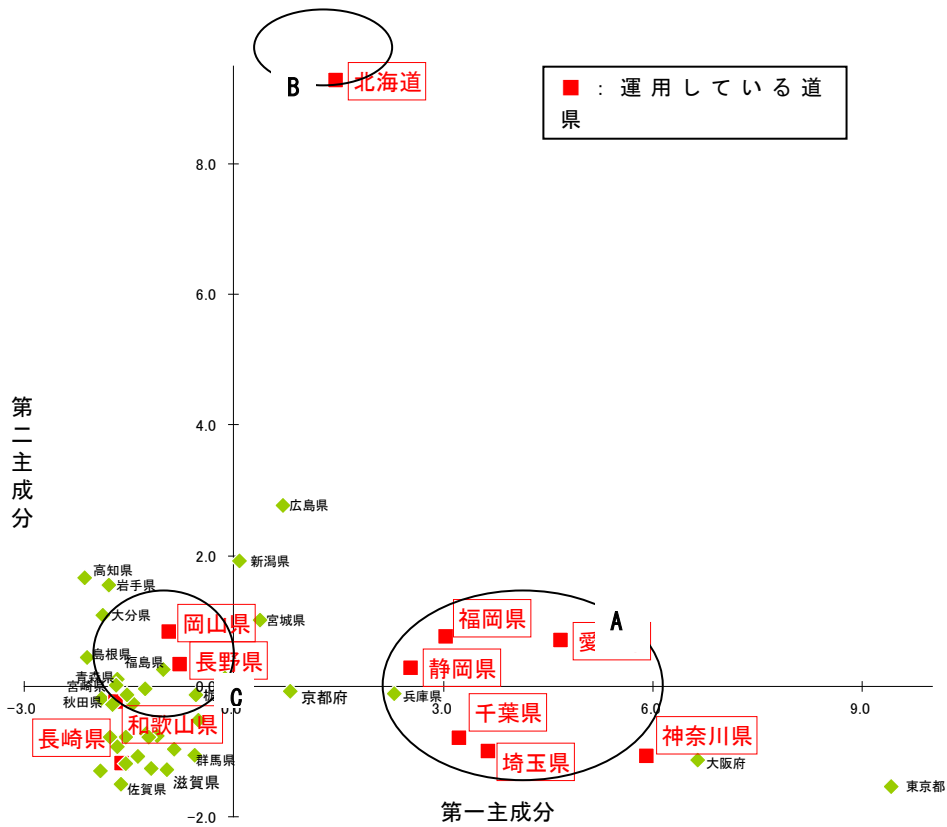


図 - 3 主成分得点

ドクターヘリを運用している道県以外では、大阪府と兵庫県をAのグループとみることができる。広島県や新潟県は、第二主成分が大きく、Bグループと同じ方向にプロットされている。従って、北海道に近い地域特性にあるといえる。一方、Cのグループは、多くの県が存在する。このグループに属し、ドクターヘリを運用している岡山県や長崎県では、「全国に先駆けて導入している」、「離島への出動が多い」という、特徴的な要素がある。しかし、Cグループには未導入の県が集中してプロットされており、普及が遅くなるのではないかと考えられる。

### 5.3 四変数を用いた分析結果と考察

ここで、4.2のロジスティック回帰分析で選択された係数だけを用いて、主成分分析を行った。この結果を図-4と図-5に示す。第二主成分までの累積寄与率は、83%となった。

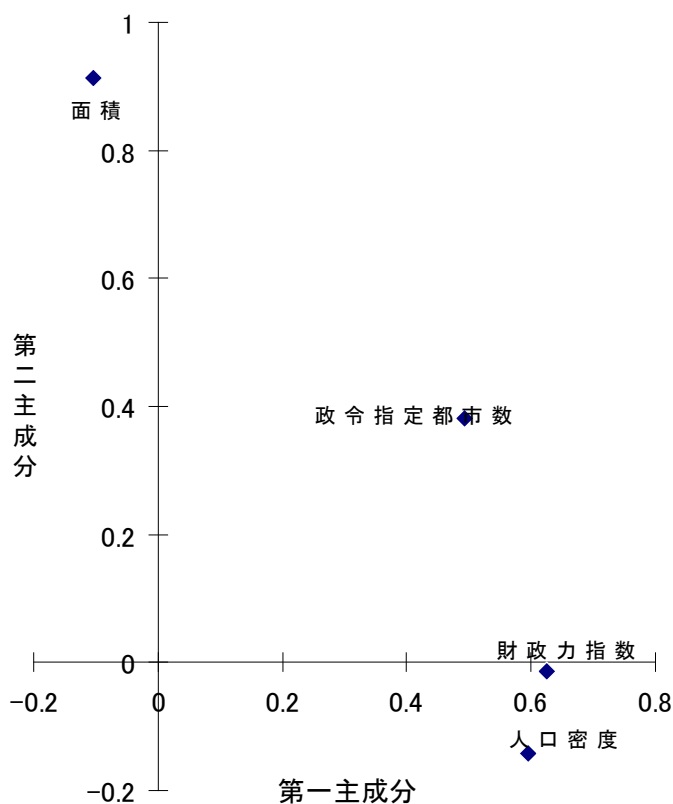


図-4 四変数を用いて分析した場合の固有ベクトル

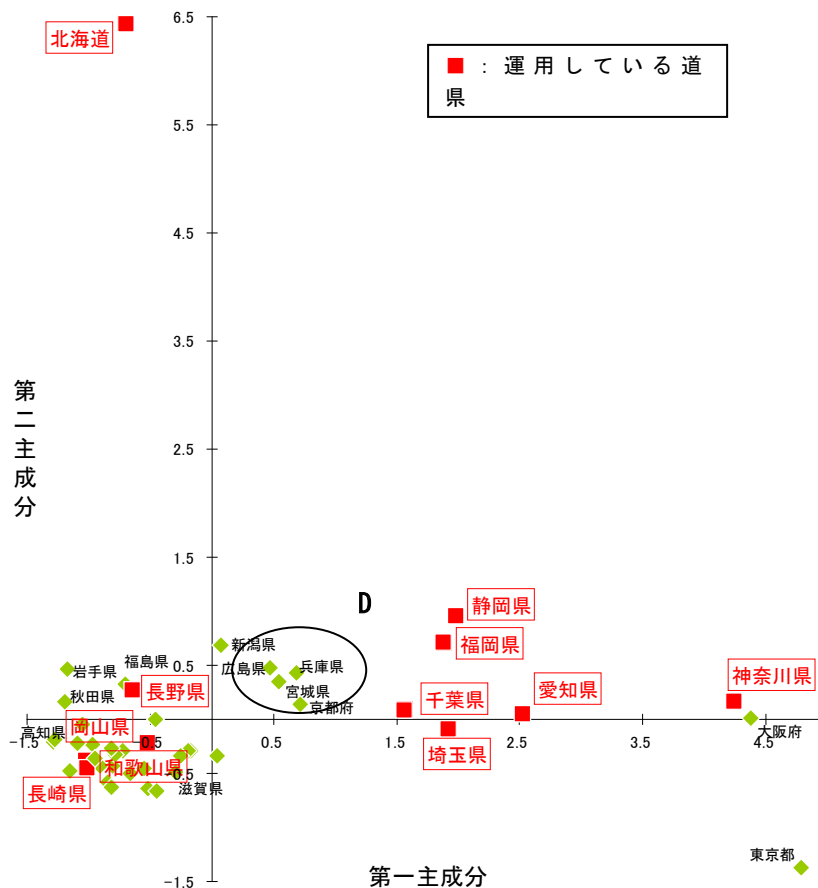


図-5 四変数を用いて分析した場合の主成分得点

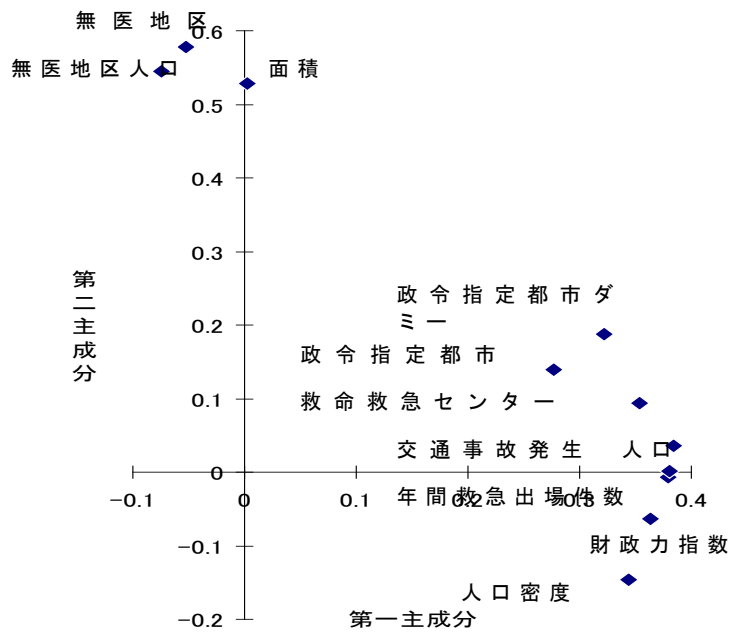
固有ベクトルより、第一主成分に影響を及ぼしている変数は、「財政力指数」や「人口密度」とみることができる。これより、第一主成分が都市的な条件を示していると考えられる。第二主成分に影響を及ぼしている変数は、「面積」とみることができる。第二主成分は、地理的条件を示していると考えられる。

5.2の結果と全体の傾向は変わらないが、新潟県、広島県、兵庫県、宮城県、京都府といった、現在運用されていないが図-3のAグループに近い位置にあるグループ(D)を新たに認めることができる。これらは、いずれも政令指定都市のある府県であり、運用できる可能性のある群とみなすことができる。

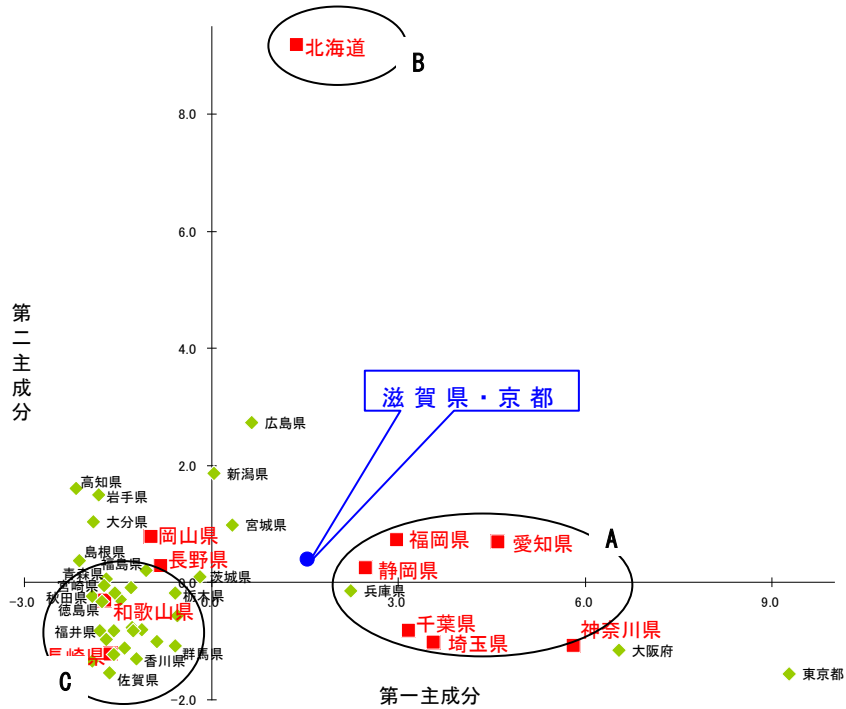
#### 5.4 合同運用を想定した分析結果と考察

ドクターヘリの合同運用がなされた場合にどのような傾向が見られるか分析を行う。ここでは、滋賀県・京都府の合同運用を想定して、主成分分析を行った。この結果を図-6、図-7に示す。

滋賀県・京都府はドクターヘリが普及しているAグループと似ることになり、その点では合同運用は有効な方法と言える。



図－6 滋賀県と京都府が合同運用した場合の固有ベクトル



図－7 滋賀県と京都府が合同運用した場合の主成分得点

## 6. まとめ

本研究では、ロジスティック回帰分析と主成分分析を用いて、ドクターヘリシステムが普及している道県の傾向や社会指標の影響を明らかにした。ドクターヘリシステムの普及に、財政力指数の影響が最も大きい結果となり、評価値が下位となった県では、ドクターヘリ配備に関して、特に財政面での支援が必要であると考えられる。なお、普及の進んだドイツ等では、国民健康保険による運航費負担も行われており、補助金（国と県で折半）で運航する我が国とは、費用負担の仕組みが根本的に異なっている<sup>7)</sup>。県が半額負担する以上、本研究で考察されたような財政の豊

かな県ほどドクターヘリシステムが先に普及する傾向を変えることは難しいと思われる。

次に、合同運用について考察した。ロジスティック回帰分析の結果、合同運用を想定しても評価値は 0.5 に届かなかったが、主成分分析の結果、普及条件の良いグループに近づくことがわかった。あらゆる組み合わせにおいて有効になるとは限らないが、現行の制度が維持されるのであれば、合同運用は早期普及のためのひとつの方向性として検討の余地はあると考えられる。

今回の分析では、現在のドクターヘリ運用の有無から、導入の可能性について考えているため、地理的、医療的特性(たとえば、医療機関の位置や道路網等)からドクターヘリが必要とされる地域について論じたものにはなっていない。また、我が国では離島救急搬送が、自衛隊ヘリや海上保安庁のヘリ、消防・防災ヘリによって行われている地域がある。いわゆるドクターヘリと呼ばれるシステムの運用が地域に対して最適であるかどうか、という検討も必要である。すなわち、地域の諸事情を十分に踏まえたうえで、必要性の定量的提示や類型化を行い、普及に向けた優先順位 の付与や最適配置計画等に資することも課題であると考えられる。

## 参考文献

- 1) 救急ヘリ病院ネットワーク:わが国のヘリコプター救急の進展に向けて, pp.22-37, 2005.
- 2) Kerr WA. Differences in mortality rates among trauma patients transported by helicopter and ambulance in Maryland: Prehospital and Disaster Medicine 1999, 14(3): pp.159-161, 1999.
- 3) 二村禎晃, 小池則満:ドクターヘリコプターの普及と社会的指標の因果関係に関する一考察, 土木学会, 第 62 回年次学術講演会講演概要集, 第 4 部門:pp.293-294, 2007.
- 4) 益子邦洋, 金丸勝弘:ドクターヘリの現状, ドクターヘリ 導入と運用のガイドブック, メディカルサイエンス社, pp.24-31, 2007.
- 5) 丹後俊郎:ロジスティック回帰分析, 朝倉書店, pp.1-2, 1996.
- 6) 2006/12/27, 中日新聞.
- 7) S.Matzke-Ahl:ドイツ航空医療システムの財務問題, 独・瑞・米における救急ヘリ運用の実態, 救急ヘリ病院ネットワーク, pp.13-26, 2006.

## Risk Evaluation for Transportation Plan of the Injured by Medical Helicopter in an Airplane Accident

In a serious accident such as an airplane accident, there is a fear of a great number of injured people. It will be impossible to transport quickly by ambulance only. To solve the problem, medical helicopters are necessary in giving high quality treatment early. However, in Japan, medical helicopters have not been able to participate in emergency drills. The discussion about the medical helicopter's capacity in an airplane accident is significant.

Our developed model is based on "the Golden Hour Principle" which is a lifesaving probability curve, and can calculate risk of death. Risk of death is defined as a multiplication of the average person's death probability and the accident incidence rate which is announced by the IATA. We simulate the activity of emergency vehicles such as ambulances and medical helicopters around the airport.

As a result of simulation of 16 airports in Japan, adding medical helicopters can reduce risk of death by 20% in best cases, and it is a more effective method than increasing ambulances in 8 out of 16 airports. The reason is as follows, the medical helicopter is faster to arrive, and medical helicopters can transport to further hospitals to avoid the heavy concentration. Therefore, it is essential to place medical helicopters in airport emergency planning.

## A Prediction Model for the Number of Patients Visiting Hospitals at the Time of an Earthquake disaster

The way in which injured people choose a hospital in Nishinomiya City at the site of the Hanshin-awaji Earthquake was analyzed by an estimation model which was composed of a logistic curve with some parameters. However, the model was only adjusted for the case of Nishinomiya city.

The newly proposed model is a combination of the results of a questionnaire survey and the previous model. The new model makes it possible to predict the number of patients visiting hospitals at the time of an earthquake disaster. The advantage of this model is that we can get the results on some suppositions of earthquakes.

The model developed for Toyota city Japan, can show that on one hand, some hospitals had a higher risk of staff confusion through the concentration of injured. On the other hand, confusion risk hasn't occurred in some hospitals which are located near the other big hospitals. To solve this problem, the enhancement of disaster-associated medical transport systems including first-aid treatment stations and heliport planning should be discussed.

## Evaluation of Road Network for Large Area Transportation of the Injured in Earthquake Disasters

For many numbers of injured who would be affected by an earthquake disaster, base hospitals have been established for large area transportation of injured in case of disasters. They are expected to coordinate medical teams and command the transportation from the damage area to the non-damage area. Cooperation among these hospitals is important to realize a result as best as possible. As the cooperation plan among the hospitals indicates, it is necessary to forecast the flow of the injured, and to clarify the important road network linking hospitals. In this study, we applied the sociometry method to show the flow of the injured and the priority of the road network.

We applied the proposal model to Aichi Prefecture, Japan, and set 3 scenarios of earthquakes. As a result, we could show the flow of injured from damage areas to non-damage areas in each case. However, some injured will try to go the urban-areas which are damaged too. The usual relation between those areas refers to the factor of making a decision about destination in this model. Injured people want to go to a well-known hospital. Consequently, we should have a medical plan to protect the hospital from heavy concentration.

## Effect of emergency medical service with medical helicopters in a highway accident

It is necessary for medical helicopters to take part in emergency services in highway accidents. Concerned ministries are creating guidelines to include medical helicopters in emergency services. Ambulance services with medical helicopters have been used gradually in Japan. However, for landing on highways, it's necessary for both police and road management vehicles to be at the accident spot. Their bases are placed on the highway at regular intervals. In some cases, one vehicle can be delayed due to traffic jams. This causes big problems in starting primary treatment early.

Our simulation model can show the solution for shortening the starting time of primary treatment which is the main purpose of medical helicopters. The model can display the position of police, road management vehicles, medical helicopters, and so on. In addition, it can save the data of arrival times and starting times of primary treatment. The cost-benefit analysis by the result of simulation has been done to clarify the effect of death rate reduction.

As a result, it becomes clear the substantial important in death rate reduction can be created by using medical helicopters. If it is possible to conduct traffic regulation by one organization, a bigger effect can be provided. From the viewpoint of cost-benefit balance, the medical helicopter system is a good method. Because the social benefit of saving a life outweighs the time and economical lost through traffic regulation.

## The Evaluation Index of Temporary Heliports for Rescue Activity

In a serious disaster such as an earthquake or a deluge, there is a fear that a region is isolated. Helicopters are expected to save lives and transport the relief supplies.

Temporary heliports for disaster rescue activity have been listed on a regional disaster prevention plan. Normally, facilities such as a park, school grounds, flood plains, and so on, are used as temporary heliports. For operating those heliports efficiently, it is necessary to clarify their properties.

Our proposal method can outline properties of temporary heliports for the rescue activity easily and objectively. The method is based on PATTERN (Planning Assistance Through Technical Evaluation of Relevance Numbers). PATTERN is one of the quantitative evaluations with human subjectivity.

We have built the Relevance Tree composing with 6 indexes which are concerned with rescue activity. The indexes are as follows, 1. The risk of taking-off and landing, 2. The backup from the ground organization, 3. The alternative refuge spaces, 4. The tolerance against disasters, 5. The medical accessibility, 6. The traffic accessibility.

We applied the model to two heliports in Hekinan city, Aichi Japan. As a result, one heliport received high points totally. The other heliport received low points, but the points received for the tolerance against disasters such as the liquefaction of the ground caused by an earthquake or flooding were high. It could be said that one is the main heliport in Hekinan city, and the other may be suitable to use as a complementary heliport.

## Analysis of social factors for the spread of medical helicopter systems

Medical helicopter systems have been in place in Japan from 2001. However, there are only 12 systems operating in 2007. The high cost has been pointed out as the greatest problem for the spread of medical helicopter systems. The local government and the central government take an equal share of the cost. Some local governments can't operate medical helicopter systems, however, the weaker local governments such as in rural regions may be necessary to operate medical helicopters. There have not been any previous studies undertaken about the social factors such as finance, population, number of high-level emergency hospitals and so on. This study aims to clarify the relationship between the regional social factors of places where medical helicopter systems do or do not exist. We will apply a logistic-regression analysis and a principal component analysis.

As a result of study, the financial co-efficiency is an important factor for the spread. In addition, 47 prefectures of Japan have been classified into three groups by the regional social factors. We propose co-operative management between neighbor prefectures for systems to spread. Then, the efficient and economical management of medical helicopter systems can be realized.